TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA

conomia

ecnologia

ociologia

vestigação

edagogia

JUNHO 1961

313

Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico

CIMENTO SECIL

Fábrica:

Outão – Setúbal

Telef. 028824/5

Escritório:

R. do Comércio, 56-3.º

LISBOA 2

Telef. 28201/2/3

Desde o
Distrito de **VIANA DO CASTELO**
ao de **LEIRIA** e nos Distritos
de **SETÚBAL** e **ÉVORA** as

FÁBRICAS
CIDADES
VILAS e
ALDEIAS portuguesas

são abastecidas de

ELECTRICIDADE

para

FORÇA MOTRIZ E TODOS OS USOS INDUSTRIAIS, LUZ, ETC., a TARIFAS MUITO VANTAJOSAS e com as maiores facilidades,

pela

UNIÃO ELECTRICA PORTUGUESA

e produzidas nas CENTRAIS:

Thérmica do FREIXO .... 22.000 CV
Hidráulica do LINDOSO... .. ... 100.000 CV
Thérmica da CACHOFARRA... 14.000 CV

Os Escritórios da UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA são:

NO PORTO Rua Duque de Loulé, 148
EM LISBOA Rua Rosa Araújo, 35

4 papeis suiços de alta qualidade, para todas as necessidades técnicas

DÉPOSÉ SIHL SUPERBUS

Papel de desenho mate e acetinado granitado para aguarelas.

SIRIUS

Papel de desenho acetinado.

ASSISTENT

Papel de desenho mate.

Utoplex

Papel vegetal mate e acetinado.

Exija expressamente Papel Sihl
Papeteries Zuricoises sur Sihl Zurich

SIHL

Representantes em Portugal:
E. BRUNNER & CA., LDA., Rua de Aviz, 13, Porto
Distribuidores: DETÉCNICA
— Equipamentos Técnicos de Desenho, Ld.ª
Av. de Berna, 46-1.º D Telef. 765321

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA DOS ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Ano XXXIV - N.º 313 Junho de 1961

Redacção e Administração: AVENIDA ROVISCO PAIS, I.S.T. * LISBOA-N. * TELEF. 77 01 44 (Linha 50)

DIRECTOR
JORGE GONÇALVES CALADO

ADMINISTRADOR
MIGUEL FALCÃO

SECRETARIO
ANTÓNIO ALVES MACEDO

REDACTORES
JOSÉ FERNANDO PINHARANDA
CARLOS PENA
RAMIRO CONFRARIA
JOSÉ ALBERTO FERNANDES

NUMERO AVULSO 12$50

ASSINATURAS:

	3 N.os	5 N.os	10 N.os
Continente e Ilhas	32$50	50$00	95$00
Ultramar Português e Espanha	—	55$00	100$00
Estrangeiro	—	60$00	110$00

★

EDITOR E PROPRIETÁRIO
ASS. DOS ESTUD. DO I.S.T.

★

COMPOSTO E IMPRESSO
NA
Tip. JORGE FERNANDES, L.DA
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

SUMÁRIO

CAPA—Guindaste Diesel Eléctrico, de 45 t/9 m—10 t/27 m construído por Construções Metalomecânicas Mague, S. A. R. L. — Aspecto de um dos dois guindastes em funcionamento no Porto da Figueira da Foz.

Págs.

Quádricas em coordenadas cartesianas não ortogonais
Por F. R. Dias Agudo 515

Métodos empregados na defesa contra a erosão costeira
Por José Pires Castanho 519

Considerações acerca do coeficiente sísmico
Por Frederico Machado 537

Ensaios modernos de sistemas de banda larga
Por Manuel José Lopes da Silva 547

Método para estimativa das performances dum veículo automóvel
Por Carlos Alberto Gaspar Dias Raposeiro 557

Do Mundo Técnico — A evolução até ao Aço nervurado Tor 569

Biblioteca 579

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SÃO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES

Índice Alfabético dos nossos anunciantes

A

Pág.

A. Gestetner XI
A. Johnson & Co (Portugal), Ltd. . . XL
Alfredo Alves XXXV
Asea Eléctrica Ld.ª XXXIV
Azevedo & Pessi, Ltd. XXXIX

C

Cimento Secil . . . . . 2.ª da capa
Companhia de Cimentos Brancos . . X
Companhia Cimento «Tejo» XLV
Companhia Industrial de Madeiras Africanas XXII
Companhia Portuguesa de Fornos Eléctricos XV
Companhia Portuguesa dos Petróleos BP XXX
Companhia União Fabril XVIII
Construções Técnicas, Ltd.ª XXI
C. Santos, Ltd.ª . . . . . VI e XIV
Cruz & Cruz, Lda. XXII

D

Detécnica . . . . . 2.ª da capa

E

Electro-Arco, Ltd.ª XI
Electro Central Vulcanizadora, Ld.ª XLV
Electrotécnicos Reunidos XXXI
Emílio de Azevedo Campos & C.ª, Ltd.ª XXXIII
Empresa Electro Cerâmica IV
Empresa Nacional de Aparelhagem Eléctrica XXXII
Empresa de Produtos Asfálticos . . . VII
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Ltd.ª . . . . . 3.ª da capa
Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos XIII
English Electric VIII
Eng.º Augusto Cavaco XI
Estabelecimentos Herold XLIII

F

Fábrica Portugal II
Fanafel XX
Filtrol, Lda. XXIV

G

Guedes & Almeida, Lda. XLII

H

Henriques & Castro, Ltd.ª X

K

Pág.

Kellogg International Corporation XXXVIII

M

Martin Leslie & C.ª Lda. XX
Monteiro Gomes, Ltd.ª XII

O

Orlando Fernandes XXXI

P

Papelaria Fernandes XXV
Philips XXVI
Pimentel & Casquilho, Ltd.ª III

S

S. E. Moniz da Maia & Vaz Guedes, L.da XVII
Soabal, Ltd. XXVII
S. Com. de Isolamentos de Cortiça XXXVII
Soc. Comercial Romar, Lda. . XIX e XXVIII
Sociedade de Construções Amadeu Gaudêncio XXXIX
Sociedade Construtora Portuguesa, Ltd.ª I
Sociedade de Electricidade Brown Boveri . . . . . 4.ª da capa
Sociedade Industrial Metalúrgica . XI
Sociedade Michaelis de Vasconcellos XVI
Sociedade Portuguesa Cavan IV
Sociedade Técnica de Equipamentos e Tractores, Lda. . . . . . (Intercalado)
Société Louis de Roll V
Sofomil XLIV
Sonap XXXVI
Sondagens Ródio, Ltd.ª XXXIX
Standard Eléctrica IX

T

Terrys XLI
Tudor XXIII

U

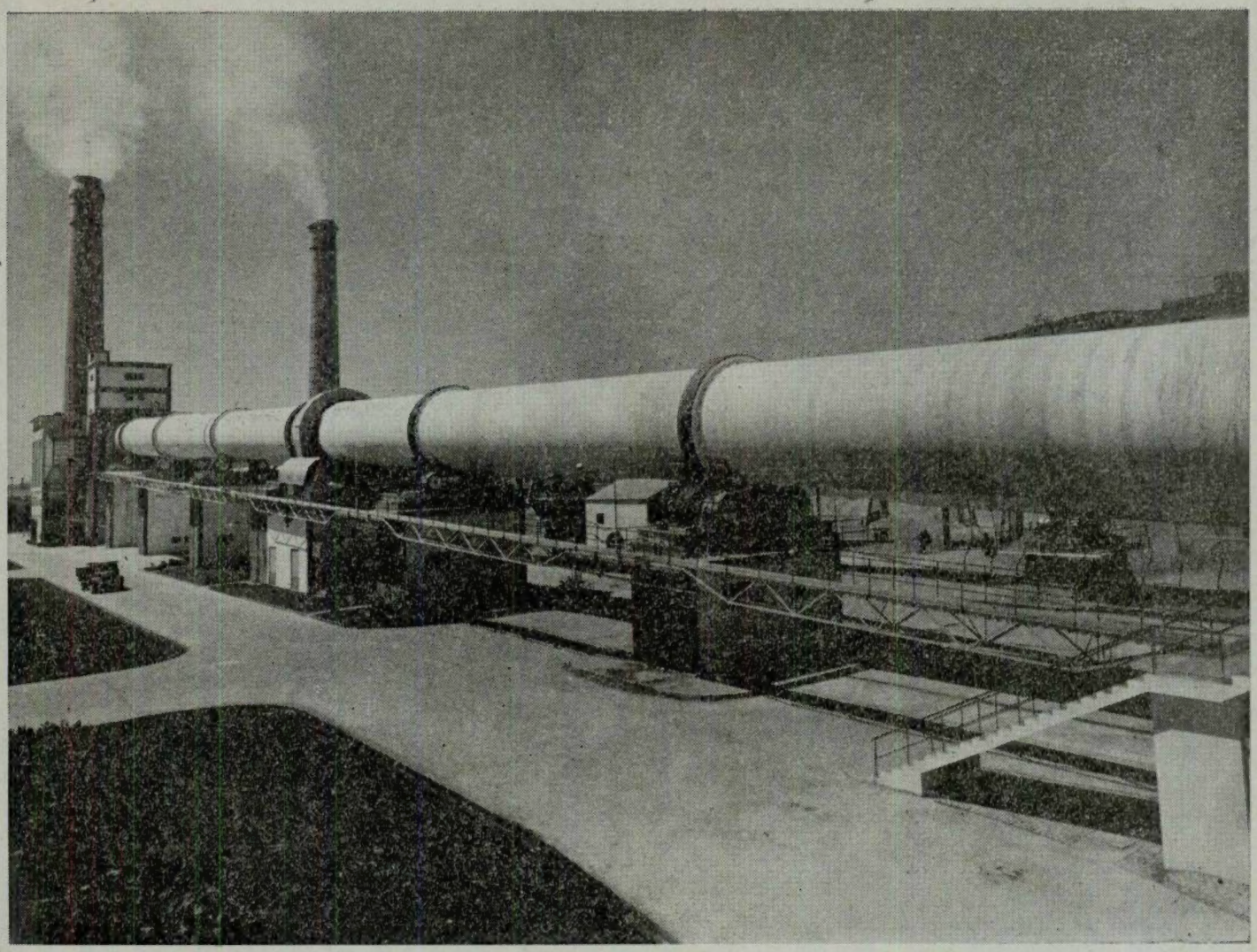
União Eléctrica Portuguesa . . . . . 2.ª da capa

V

Vasco Pessoa, Lda. XXIV

W

Wild Portugal, Lda. XXIX



COMPANHIA CIMENTO TEJO
(Alhandra)

5.ª LINHA FABRIL

Assente sobre 407 estacas Franki

FUNDAÇÕES FRANKI

Sociedade Construtora Portuguesa, Lda.

Praça do Areeiro, n.º 9, 4.º Esq. — Lisboa — Tel. 72 60 61 e 72 99 11

Fábrica Portugal

S. A. R. L.

LISBOA

MOBILIÁRIO METÁLICO

EM TODOS OS GÉNEROS

Instalações completas para :

Mobiliário moderno
para

ESCRITÓRIOS
ESCOLAS
BIBLIOTECAS

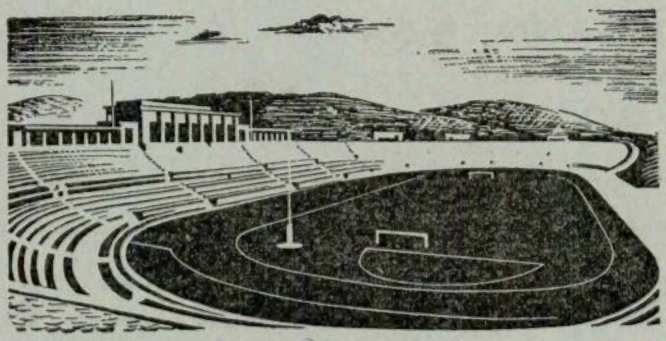
CLINICAS
HOSPITAIS
SANATÓRIOS
CINEMAS
HOTÉIS
ESPLANADAS

SALAS DE EXPOSIÇÕES :

Rua Febo Moniz, 2 a 20 — Praça dos Restauradores, 49 a 57

PIMENTEL & CASQUILHO, L.DA

QUASE 40 ANOS AO SERVIÇO DA ENGENHARIA PORTUGUESA



GRANDE SORTIDO DE INSTRUMENTOS DE PRECISÃO, CIENTÍFICOS E INDUSTRIAIS

RUA DAS PORTAS DE SANTO ANTÃO, 75
LISBOA
TELEF.: 2 43 14 — 2 42 48 ✦ TELEG.: TECNA

CAVAN

SOCIEDADE PORTUGUESA

POSTES DE BETÃO PARA LINHAS ELÉCTRICAS

MOSAICOS E AZULEJOS

COLUNAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

MANILHAS PARA ESGOTOS

RUA D. ESTEFÂNIA, 94-A

TELEF. 47812-50129

LISBOA

EMPRESA ELECTRO CERÂMICA — S. A. R. L.

Candal — Gaia

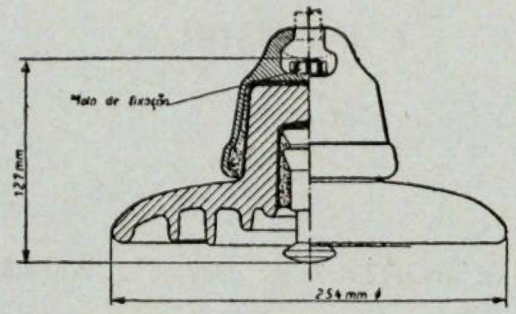
ISOLADORES DE CADEIA

Para suspensão

Tipo ACS 25

Este isolador é igual ao tipo I. B. S. 99 da firma inglesa Taylor Tunnicliff & Co., Ltd., por acordo com a qual o fabricamos

Peso aproximado: 4,3 kg cada elemento

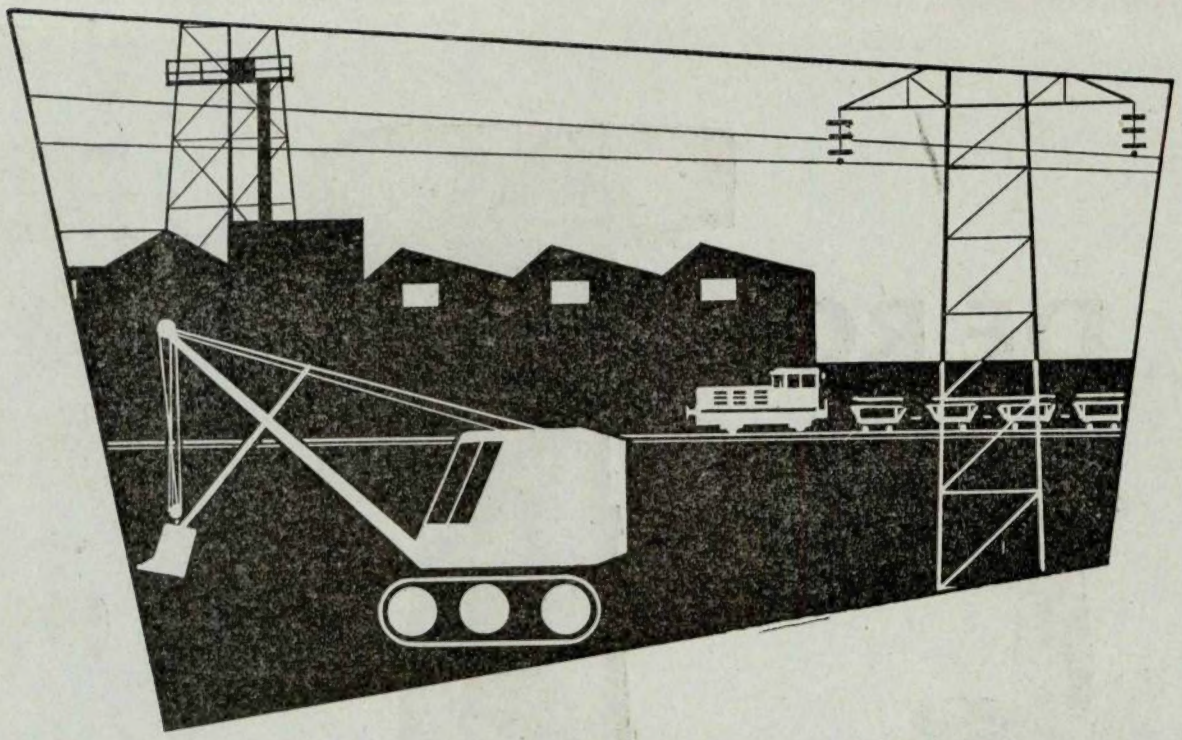


Materiais

Porcelana vidrada em castanho.
Campânulas de ferro fundido maleável, galvanizadas por imersão a quente.
Hastes de aço macio galvanizadas por imersão a quente.
Molas de fixação de bronze fosforoso.

Sede — Largo Barão de Quintela, 3 — LISBOA

DE ROLL
Máquinas
para as indústrias
de produtos
químicos,
alimentares
e cerâmicos
aço esmaltado
fundição
esmaltada
Representantes
em Portugal:
Socotel, L. da
Rua de
Sá da Bandeira,
651-4.° Esq.
Porto-Tel. 27013
DE ROLL Fábricas de Klus
Klus (Suiça)



MERCEDES-BENZ

MOTORES INDUSTRIAIS DIESEL

MOTORES PARA TODAS AS APLICAÇÕES INDUSTRIAIS
FAMOSOS EM TODO O MUNDO PELA SUA GRANDE ROBUSTÊS, ECONOMIA
DE CONSUMO E FACILIDADE DE MANUTENÇÃO
MODELOS DESDE 15 A 2.500 H. P.

EM ARMAZÉM:

MODELO M B 841 B	25 H. P. — 1.000 R. P. M.
MODELO M 202 B	55 H. P. — 1.200 R. P. M.
MODELO M 203 B	90 H. P. — 1.200 R. P. M.
MODELO M 204 B	120 H. P. — 1.200 R. P. M.

OUTROS MODELOS PARA ENTREGA MUITO RÁPIDA

MOTORES A 4 TEMPOS · ARREFECIMENTO POR ÁGUA
ARRANQUE A AR COMPRIMIDO OU ELÉCTRICO

REPRESENTANTES C. SANTOS LDA. — DIVISÃO MARÍTIMA E TÉCNICA

29, AV. DA LIBERDADE, 41 — LISBOA
160, R. DE S.TA CATARINA, 168 — PORTO

Celulite

ISOLAMENTO TÉRMICO DAS CONSTRUÇÕES

PAVIMENTOS

*

TECTOS

*

PAREDES

*

CÂMARAS FRIGORÍFICAS

*

ISOLAMENTOS INDUSTRIAIS

Terraços e pavimentos isolados com CELULITE no edifício da Comp.ª de Seguros Fidelidade — P. das Águas Livres — Lisboa

SETH, LDA. ✦ RUA FILIPE FOLQUE, 10-1.º ✦ TEL. 73 01 56 — LISBOA

Para impermeabilizar terraços, paredes, fundações, etc.

COLAGEM DE TACOS DE MADEIRA

TELEF. 73 0156 TELEG. EPALDA — LISBOA

EMPREZA DE PRODUCTOS ASFÁLTICOS

IMPERMEABILISADOR

IMEPA

RUA FILIPE FOLQUE, 10-1.º - LISBOA

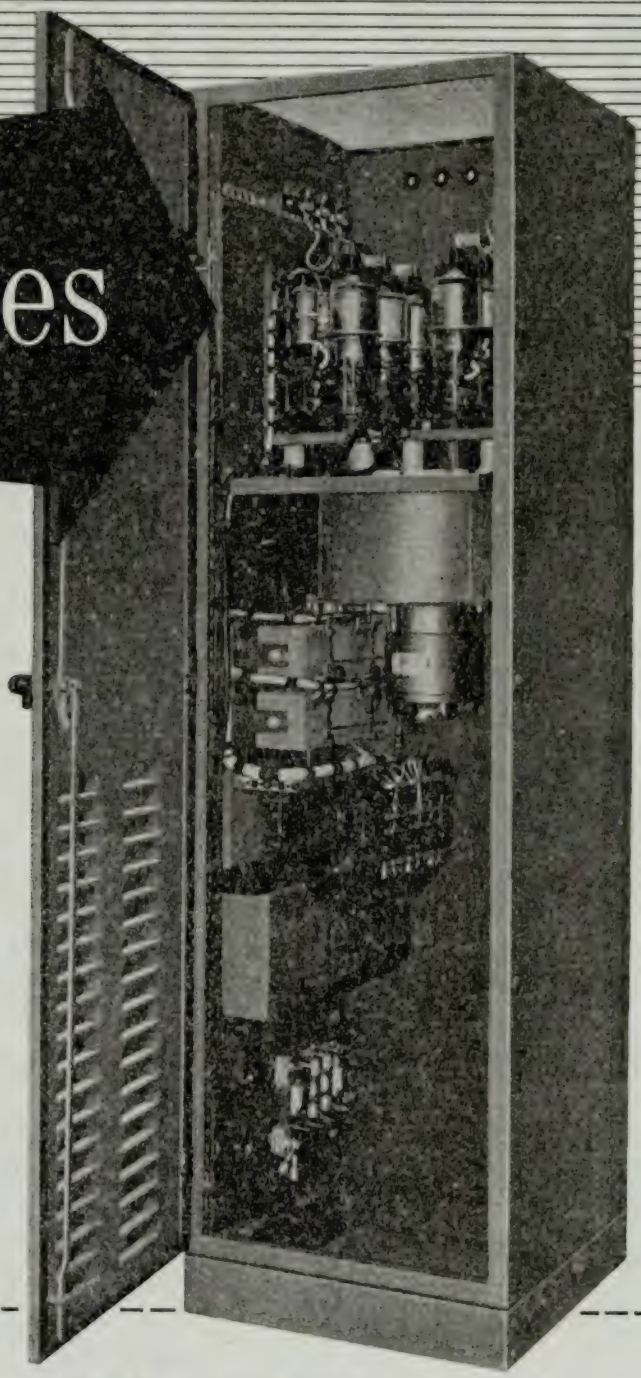
FÁBRICA EM SACAVÉM

Excitrões

para aplicações industriais

Equipamentos completos de corrente contínua e válvulas rectificadoras

- *Simplicidade*
- *Compacidade*
- *Longa duração*
- *Baixo custo*



Cabine de rectificação para 200 A, 600 V

'ENGLISH ELECTRIC'

ENGLISH ELÉCTRICA DE PORTUGAL, LIMITADA

Rua Cascais, 47 (Alcântara) — LISBOA 3

Standard Electrica S.A.R.L.

Associada da

INTERNATIONAL TELEPHONE AND TELEGRAPH CORPORATION

DE NOVA YORK

TELECOMUNICAÇÕES

ELECTRÓNICA

AV. DA INDIA — LISBOA

O EMPREGO DO CIMENTO BRANCO...

permite acabamentos mais perfeitos, mais duradouros e muito mais económicos

Estude a vantagem do emprego do

CIMENTO BRANCO LUSO

Consulte os distribuidores gerais

No Sul: **SCIAL** — T. do Corpo Santo, 15 — Telef. 2 0464 — Lisboa
No Norte: **SCIAL** — R. do Bonjardim, 205 — Telef. 2 5779 — Porto

ELECTRO-ARCO
LIMITADA

ELECTRODIOS
POSTOS E ACESSORIOS
PARA A SOLDADURA ELECTRICA

MATERIAL APROVADO PELO
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING

FÁBRICA E LABORATÓRIOS
VENDA NOVA —— AMADORA
LISBOA
RUA SILVA CARVALHO, 239 — TEL 683649
PORTO
RUA DO BOLHÃO, 216 — TEL 21277

DUPLICADORES

Manuais e eléctricos

Gestetner

OS MELHORES
DO MUNDO

A GESTETNER, L.DA

RUA DA CONCEIÇÃO, 125 Telefone 2 2628 - LISBOA | LARGO DO PADRÃO, 20, 1.º Telefone 2 3469 - PORTO

SOCIEDADE INDUSTRIAL METALURGICA

Responsabilidade Limitada
(REGISTADO)

SERRALHARIAS,
CALDEIRARIA,
FERRARIA,
FUNDIÇÕES

ESCRITÓRIO
Rua de S. Tiago, 13
LISBOA
Telefone 26572

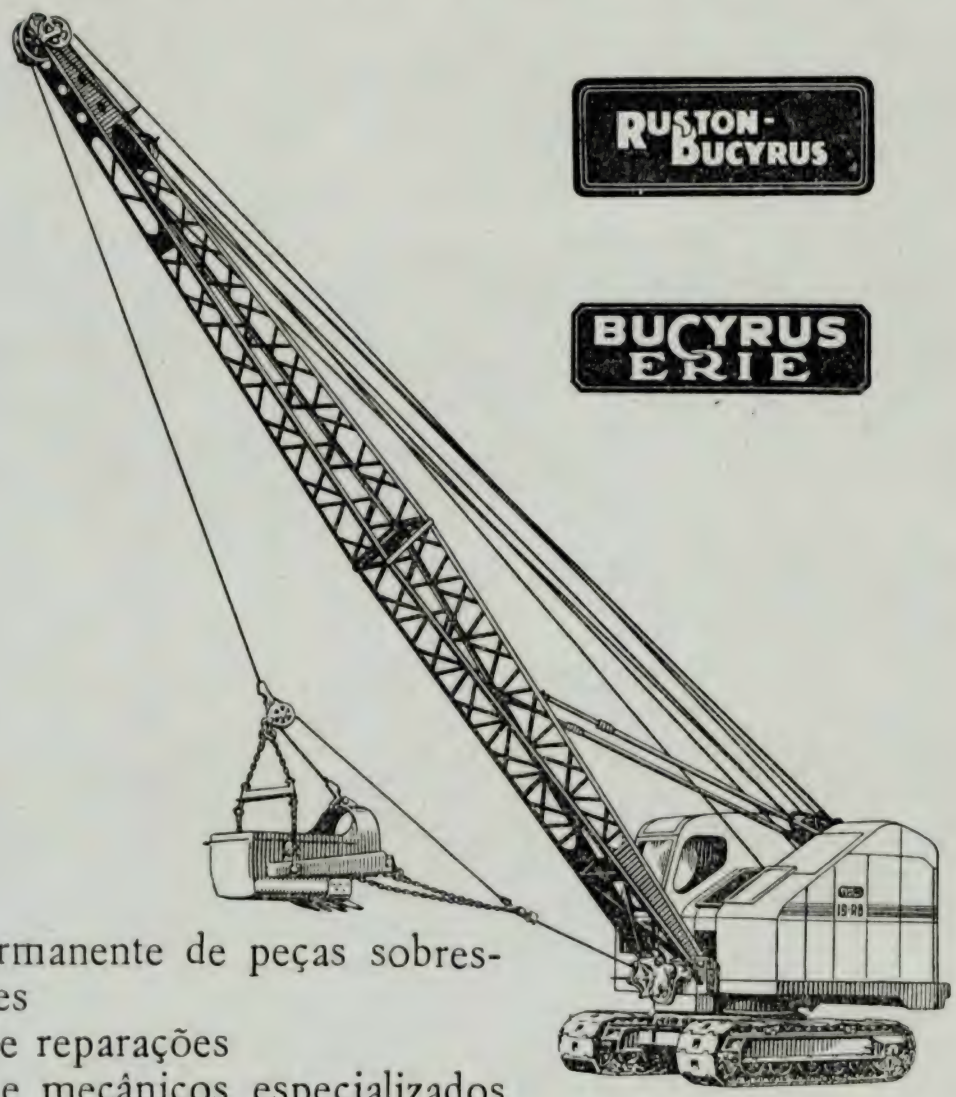
SONDAGENS
FUNDAÇÕES
CAPTAÇÕES DE ÁGUA
REBAIXAMENTOS
DE NÍVEIS AQUÍFEROS

RUA RODRIGO DA FONSECA, 62- · LISBOA · TELEF. 53873

ESCAVADORAS

RUSTON-BUCYRUS, LTD. E BUCYRUS-ERIE & CO.

Modelos de 3/8 a 36 jardas cúbicas



Stock permanente de peças sobressalentes
Oficina de reparações
Técnicos e mecânicos especializados
Ensino e treino de operadores

Representantes exclusivos para Portugal e Ultramar

MONTEIRO GOMES, LIMITADA

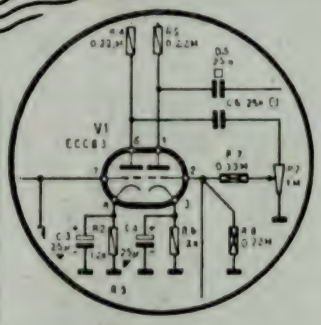
Rua Cascais, 47 (Alcântara)

LISBOA

PORTO LUANDA LOURENÇO MARQUES

EQUIPAMENTO DE AMPLIFICAÇÃO DE SOM

BEM CONCEBIDO CALCULADO CONSTRUIDO



LESA

A grande marca italiana

Representantes em Portugal

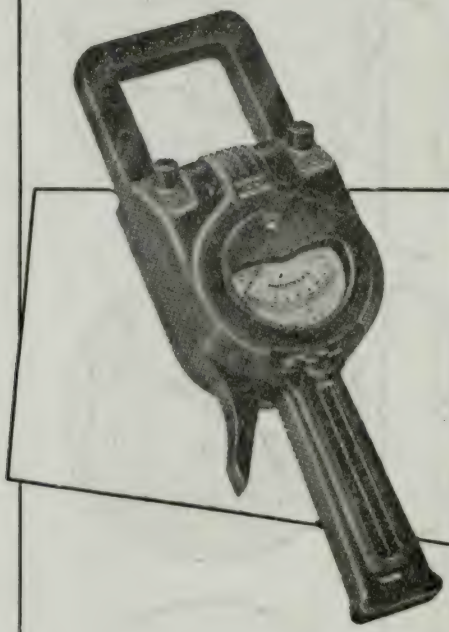
TELECTRA

EMPRESA TECNICA DE EQUIPAMENTOS ELECTRICOS, S. A. R. L.

Rua Rodrigo da Fonseca, 103, r/c
LISBOA — Tel. 68 60 72

Rua Sá da Bandeira, 766-1.º E.
Tel. 2 48 18 — PORTO

PINÇAS FERRANTI



PINÇAS VOLT—AMPERIMÉTRICAS

7 ESCALAS

EM AMPÈRES	EM VOLTS
0 – 10 AMPS.	0 – 150 V
0 – 25 »	0 – 600 »
0 – 100 »	
0 – 250 »	
0 – 1000 »	

PINÇA WATTIMÉTRICA

7 ESCALAS

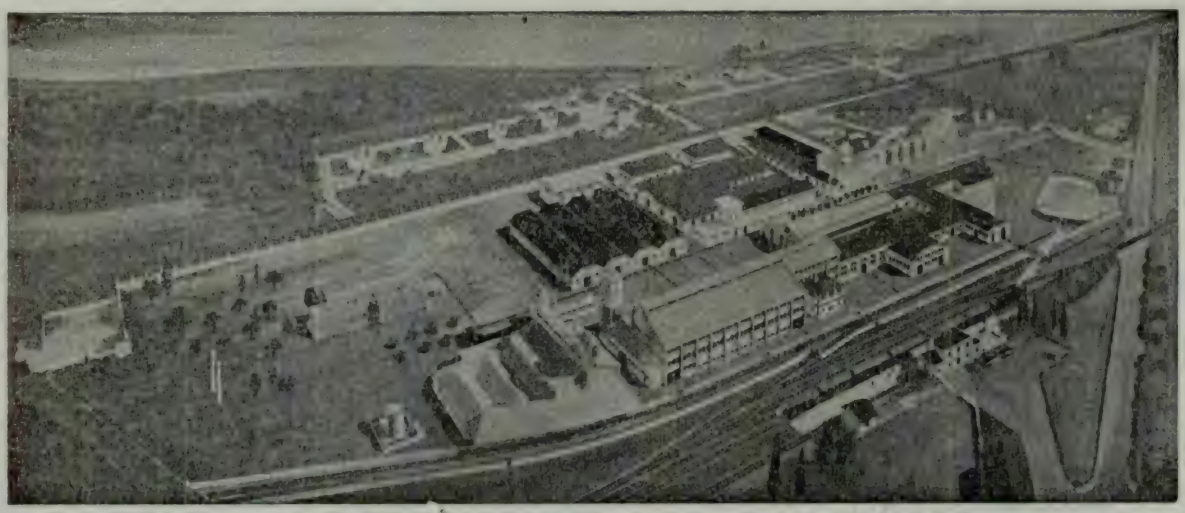
0 – 3 KW
0 – 6 »
0 – 12 »
0 – 30 »
0 – 60 »
0 – 120 »
0 – 300 »

REPRESENTANTES:

C. SANTOS LDA.

29, AVENIDA DA LIBERDADE, 41 — LISBOA

DIVISÃO MARÍTIMA E TÉCNICA
T. DA GLÓRIA, 17—LISBOA
160, R. STA. CATARINA, 168—PORTO



COMPANHIA PORTUGUESA DE FORNOS ELÉCTRICOS

PRODUTORA DE

FERRO GUSA

FERRO LIGAS

FERRO-MANGANÊS

SÍLICO-MANGANÊS

FERRO-SILÍCIOS

15 % - 25 % - 45 % - 75 % - 90 %

CARBONETO DE CALCIO

CIANAMIDA CÁLCICA

PASTA PARA ELÉCTRODOS

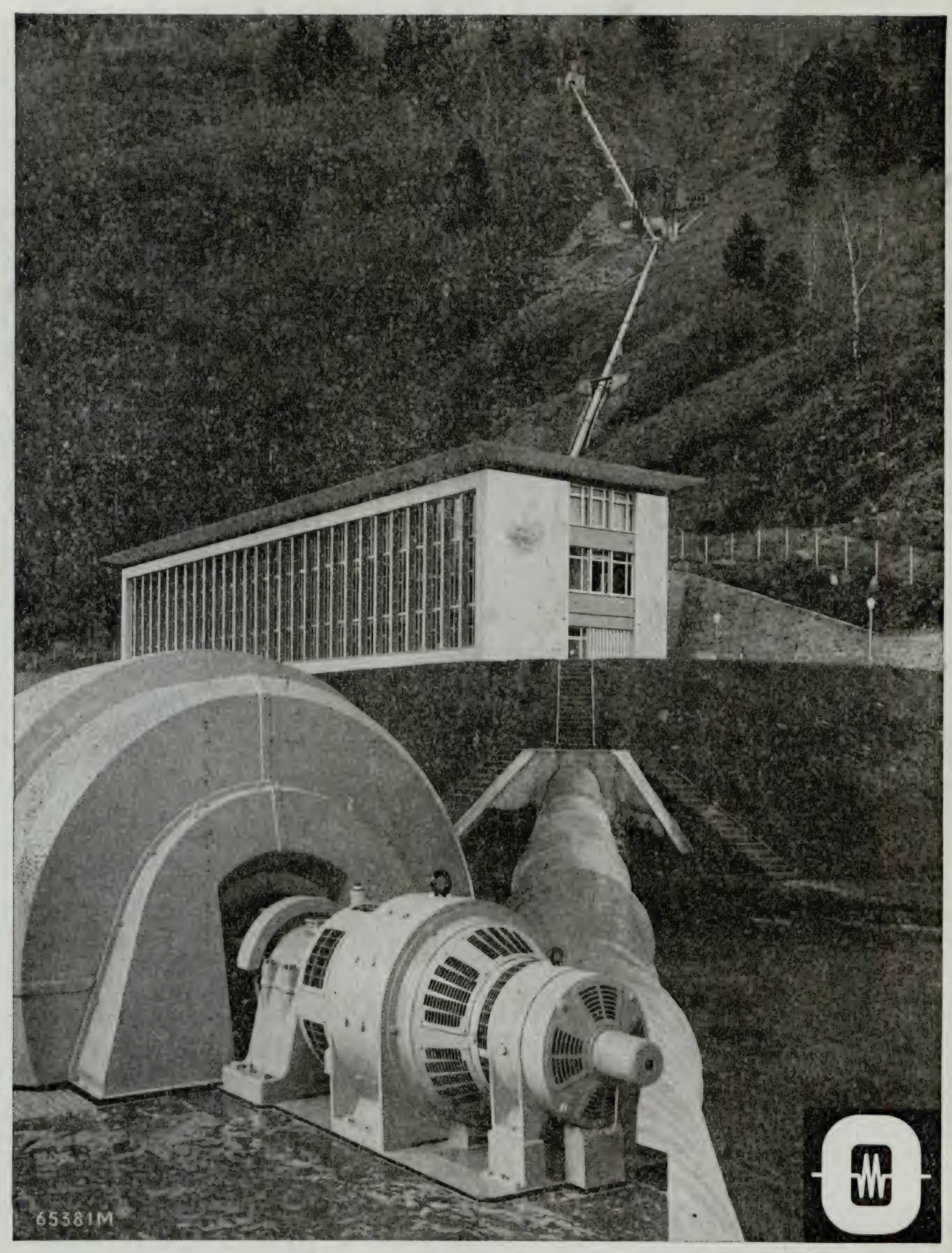
E EM MONTAGEM

GRAFITE

FÁBRICAS
CANAS DE SENHORIM
Telefone 67222

SEDE
Largo de S. Carlos, 4-2.º — LISBOA
Telefones 25343-29608-368989

Ateliers de Construction Oerlikon • Zurich 50



Para a Central de Lostallo/Mesolcina, OERLIKON forneceu o equipamento eléctrico completo, que compreende 2 alternadores de 13.750 kVA cada um, os transformadores, a subestação exterior e os quadros de comando

Representante para Portugal e Ultramar: Sociedade Michaëlis de Vasconcelos, Lda.

PORTO — Pr. da Liberdade, 114 LISBOA — Av. Marquês de Tomar, 94

TÉCNICA

DIRECTOR: JORGE GONÇALVES CALADO
ADMINISTRADOR: MIGUEL FALCÃO
SECRETÁRIO: ANTÓNIO ALVES MACEDO

Ano XXXVI — N.º 313 Junho de 1961

C. D. U. 513 561.2

Quádricas em coordenadas cartesianas não ortogonais

POR F. R. DIAS AGUDO

Doutor em Ciências Matemáticas (U. L.) e Eng.º Civil (I. S. T.)
Primeiro Assistente da Faculdade de Ciências de Lisboa e Encarregado de Regência no Instituto Superior Técnico
Bolseiro do I. A. C. — C. E. E. N.

1. Introdução

É opinião geralmente aceite que as cadeiras de matemática incluídas nos cursos técnicos superiores têm dois objectivos igualmente importantes e de modo algum contraditórios: se, por um lado, devem dar ao estudante conhecimentos que virá a utilizar nas cadeiras da especialidade e no exercício da profissão, elas devem, por outro, habituá-lo a raciocinar com clareza e precisão, ampliar a sua ânsia de saber, desenvolver a sua capacidade para adquirir novos conhecimentos. Não se limitando ao *como*, o professor deve também satisfazer o estudante com o *porquê* das coisas, relacionar as matérias, ordená-las lògicamente sempre que haja lugar para isso, visto que a aluno as apreende com tanto maior facilidade e proveito quanto maior for a conexão que sinta entre elas.

Foi dentro desta ordem de ideias que no nosso curso de Matemáticas Gerais fizemos todo o estudo das superfícies de segunda ordem (quádricas) como mera aplicação da moderna álgebra das transformações lineares e matrizes. E podemos acrescentar que a teoria assim orientada leva ainda o estudante a tomar um primeiro contacto com conceitos que mais tarde verá desenvolver na álgebra tensorial, como vai ver-se neste artigo, em que generalizamos a sistemas de coordenadas não necessàriamente ortogonais alguns resultados clássicos de teoria das quádricas.

2 Métrica de um espaço euclidiano

Seja R^3 o espaço euclidiano tridimensional, $\{e_1, e_2, e_3\}$ uma base do espaço constituída por três vectores unitários não necessàriamente ortogonais dois a dois, e ponha-se $g_{ij} = e_i \mid e_j = \cos(\widehat{e_i, e_j})$. O produto interno $(x, y) = x \mid y$ de dois vectores $x = \Sigma x_i e_i$ e $y = \Sigma y_i e_i$ (que podemos representar pelas matrizes colunas $X = \{x_1\ x_2\ x_3\}$ e $Y = \{y_1\ y_2\ y_3\}$, respectivamente) (1), será dado por

$$x \mid y = \sum_{i,j} g_{ij}\, x_i\, y_j = X^T G Y \text{ (2)}$$

com $$G = [g_{ij}]$$

matriz definida positiva e X^T matriz linha transposta de X.

A G chamaremos matriz da métrica relativa

(1) O leitor não familiarizado com estas notações pode consultar o livro do autor *Introdução à Álgebra Linear e Geometria Analítica*, Lisboa, 1960.

(2) Esta relação corresponde à expressão do produto interno de dois vectores contravariantes num espaço de Riemann.

à base $\{ \mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \mathbf{e}_3 \}$ e o quadrado do módulo de um vector $\mathbf{x}$ será dado por

$$|\mathbf{x}|^2 = \sum_{i,j} g_{ij}\, x_i\, x_j = X^T\, G\, X.$$

Considere-se agora uma segunda base de $\mathbf{R}^3$ constituída por três vectores unitários $\hat{\mathbf{e}}_1, \hat{\mathbf{e}}_2, \hat{\mathbf{e}}_3$ relacionados com os primeiros por

$$\hat{\mathbf{e}}_i = \sum_j \mathbf{e}_j\, t_{ji}$$

ou, em notação matricial,

$$[\hat{\mathbf{e}}_1\ \hat{\mathbf{e}}_2\ \hat{\mathbf{e}}_3] = [\mathbf{e}_1\ \mathbf{e}_2\ \mathbf{e}_3]\, T\ ,$$

onde $T = [t_{ij}]$ é matriz regular de terceira ordem.

Se forem $\Sigma\, \hat{x}_i\, \hat{\mathbf{e}}_i$ e $\Sigma\, \hat{y}_i\, \hat{\mathbf{e}}_i$ as expressões cartesianas, na nova base, dos vectores $\mathbf{x} = \Sigma\, x_i\, \mathbf{e}_i$ e $\mathbf{y} = \Sigma\, y_i\, \mathbf{e}_i$ anteriormente considerados, deduz-se fàcilmente (1) que as matrizes colunas formadas pelas coordenadas dos vectores nas duas bases estão relacionadas por

$$X = T\,\hat{X}\ ,\ Y = T\,\hat{Y}\ ,$$

pelo que, em relação à segunda base, o produto interno é dado por

$$X^T G\, Y = \hat{X}^T\, T^T\, G\, T\, \hat{Y}$$

ou seja

$$\hat{X}^T \hat{G}\, \hat{Y} \quad \text{com} \quad \hat{G} = T^T\, G\, T$$

Conclui-se assim que, quando se executa em $\mathbf{R}^3$ uma mudança de base definida por

$$[\hat{\mathbf{e}}_1\ \hat{\mathbf{e}}_2\ \hat{\mathbf{e}}_3] = [\mathbf{e}_1\ \mathbf{e}_2\ \mathbf{e}_3]\, T\ ,$$

a matriz da métrica se transforma de acordo com a lei (2)

$$\hat{G} = T^T\, G\, T$$

(1) Ver Dias Agudo, F. R., obra citada, pág. 135.

(2) Esta conclusão corresponde a afirmar que g_{ij} é tensor duplo còvariante, como se sabe da álgebra tensorial.

3. Equação matricial de uma quádrica. Direcções principais e planos principais

A forma mais geral da equação de uma quádrica (em coordenadas cartesianas) é

$$\begin{aligned} &a_{11}\, x^2 + 2\, a_{12}\, x\, y + 2\, a_{13}\, x\, z + 2\, a_{14}\, x + \\ &+ a_{22}\, y^2 + 2\, a_{23}\, y\, z + 2\, a_{24}\, y + a_{33}\, z^2 + \\ (3.1) \qquad &+ 2\, a_{34}\, z + a_{44} = 0 \end{aligned}$$

Usando coordenadas homogéneas x_1, x_2, x_3, x_4

$$\left(\text{com } \frac{x_1}{x_4} = x,\ \frac{x_2}{x_4} = y,\ \frac{x_3}{x_4} = z \right)$$

obtém-se

$$(3.2) \qquad \sum_{i,j=1}^{4} a_{ij}\, x_i\, x_j = 0 \quad \text{com } a_{ij} = a_{ji}$$

A equação da superfície em coordenadas homogéneas pode escrever-se ainda na forma

$$(3.3) \qquad X^T A X = 0$$

com $A = [a_{ij}]$ matriz simétrica de quarta ordem e designando X a matriz coluna $\{ x_1\ x_2\ x_3\ x_4 \}$.

Fragmentando A em $\begin{bmatrix} A & \Lambda \\ \Lambda^T & a_{44} \end{bmatrix}$

com $A = [a_{ij}]$ $(i,j = 1, 2, 3)$ sub matriz quadrada de terceira ordem de A e $\Lambda = \{a_{14}\ a_{24}\ a_{34}\}$, e pondo $X = \{ x\ y\ z\ 1 \} = \begin{bmatrix} P \\ 1 \end{bmatrix}$, a igualdade

$X^T A\, X = 0$ toma a forma

$$[P^T\, 1] \begin{bmatrix} A & \Lambda \\ \Lambda^T & a_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ 1 \end{bmatrix} = 0\,.$$

Efectuando a multiplicação por blocos vem

$$(3.4) \qquad P^T A\, P + 2\, \Lambda^T P + a_{44} = 0$$

que é apenas outra forma de escrever a equação (3.1)

Por considerações simples (1) prova-se que o plano diametral conjugado com uma direcção d

(1) Ver Dias Agudo, F. R., obra citada, pág. 226 ou Gazeta de Matemática n.º 81 (Out.-Dez. 1960), pág. 2.

(plano π que contém os pontos médios das cordas da superfície com a direcção d) tem por equação

$$(3.5) \qquad (A\,U)^T P + U^T \Lambda = 0,$$

onde U é o vector coluna constituído pelos parâmetros directores de d. Este plano diz-se *principal* (ou *de simetria*) e d é uma *direcção principal* da superfície quando $d \perp \pi$. Ora com um sistema de referência não necessàriamente triortogonal, em que a métrica seja definida por uma matriz G, a equação do plano que passa por um ponto fixo $P_o \equiv \{x_o\, y_o\, z_o\}$ e é perpendicular a um vector U escreve-se

$$(3.6) \qquad U^T G\,(P - P_o) = 0.$$

Conclui-se de (3.5) e (3.6) que π será plano principal e U direcção principal se

$$(A\,U)^T = \lambda\, U^T G \quad (\lambda \text{ escalar})$$

ou seja

$$A\,U = \lambda\, G\,U$$

ou ainda

$$(G^{-1}A)\,U = \lambda\, U$$

As direcções principais da quádrica são, pois, dadas pelos vectores próprios da matriz $G^{-1}A$ (1).

4. Invariantes

Consideremos agora a transformação geral de coordenadas cartesianas

$$\begin{cases} x = t_{11}\,\hat{x} + t_{12}\,\hat{y} + t_{13}\,\hat{z} + x_o \\ y = t_{21}\,\hat{x} + t_{22}\,\hat{y} + t_{23}\,\hat{z} + y_o \\ z = t_{31}\,\hat{x} + t_{32}\,\hat{y} + t_{33}\,\hat{z} + z_o \end{cases}$$

ou, em notação matricial,

$$P = T\,\hat{P} + P_o.$$

Esta relação pode escrever-se

$$\begin{bmatrix} P \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T & P_o \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{P} \\ 1 \end{bmatrix}$$

(1) Tais direcções, que podem ser determinadas pelo sistema homogéneo $(A - \lambda\, G)\,U = O$, não são mais do que as direcções principais do tensor a_{ij} $(i, j = 1, 2, 3)$ que surgem em numerosas questões de álgebra tensorial e aplicações.

ou seja

$$X = \Omega\,\hat{X} \quad \text{com} \quad \Omega = \begin{bmatrix} T & P_o \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Por meio da transformação a equação $X^T A X = 0$ da quádrica dá lugar a $\hat{X}^T \hat{A}\,\hat{X} = 0$ com $\hat{A} = \Omega^T A\,\Omega$, e $P^T A\,P + 2\,\Lambda^T P + a_{44} = 0$ transforma-se em

$$\hat{P}^T \hat{A}\,\hat{P} + \ldots \text{ (termos de grau} < 2 \text{ em } \hat{x}, \hat{y}, \hat{z}) = 0,$$

com

$$\hat{A} = T^T A\,T.$$

A matriz A transforma-se, pois, como a matriz G da métrica (1) e a matriz $G^{-1}A$ dá lugar a $\hat{G}^{-1}\hat{A} = T^{-1}G^{-1}(T^T)^{-1}T^T A\,T = T^{-1}(G^{-1}A)\,T$.

Conclui-se assim que $G^{-1}A$ e $\hat{G}^{-1}\hat{A}$, por serem matrizes semelhantes, têm o mesmo polinómio característico, conservando-se invariantes na transformação de coordenadas considerada as expressões seguintes:

i) $c\,(G^{-1}A) = c\,(A)$ (característica da matriz A)

ii) $\mathrm{Tr}\,(G^{-1}A)$ (traço de $G^{-1}A$)

iii) $\mathrm{Tr\ adj}\,(G^{-1}A)$ (traço da matriz adjunta de $G^{-1}A$)

iv) $|G^{-1}A| = |A|/|G|$

Quanto ao discriminante $|A|$ da quádrica, tem-se

$$\frac{|\hat{A}|}{|\hat{G}|} = \frac{|\Omega^T|\,|A|\,|\Omega|}{|T^T|\,|G|\,|T|} = \frac{|A|}{|G|}$$

surgindo assim o cociente $|A|/|G|$ como um quinto invariante das quádricas.

OBSERVAÇÃO. O que acaba de dizer-se para as quádricas repete-se, mutatis mutandis, para as linhas de segunda ordem (cónicas), de equação geral

$$a_{11}x^2 + 2\,a_{12}\,xy + 2\,a_{13}\,x + a_{22}\,y^2 + 2\,a_{23}\,y + a_{33} = 0.$$

Deve considerar-se então o plano euclidiano

(1) a_{ij} $(i, j = 1, 2, 3)$ é um tensor còvariante tal como g_{ij}.

R^2 em vez de R^3, e a matriz da métrica toma a forma

$$G = \begin{bmatrix} 1 & \cos\theta \\ \cos\theta & 1 \end{bmatrix},$$

onde θ é o ângulo formado pelos dois eixos coordenados OX e OY (ou pelos respectivos versores e_1 e e_2).

A matriz G^{-1} vem a ser

$$G^{-1} = \frac{1}{\operatorname{sen}^2\theta} \begin{bmatrix} 1 & -\cos\theta \\ -\cos\theta & 1 \end{bmatrix}$$

e os invariantes das cónicas (perante qualquer transformação de coordenadas cartesianas) tomam a forma

$$\operatorname{Tr}(G^{-1}A) = \frac{a_{11} + a_{22} - 2\,a_{12}\cos\theta}{\operatorname{sen}^2\theta}$$

$$|G^{-1}A| = \frac{a_{11}\,a_{22} - a_{12}^2}{\operatorname{sen}^2\theta}$$

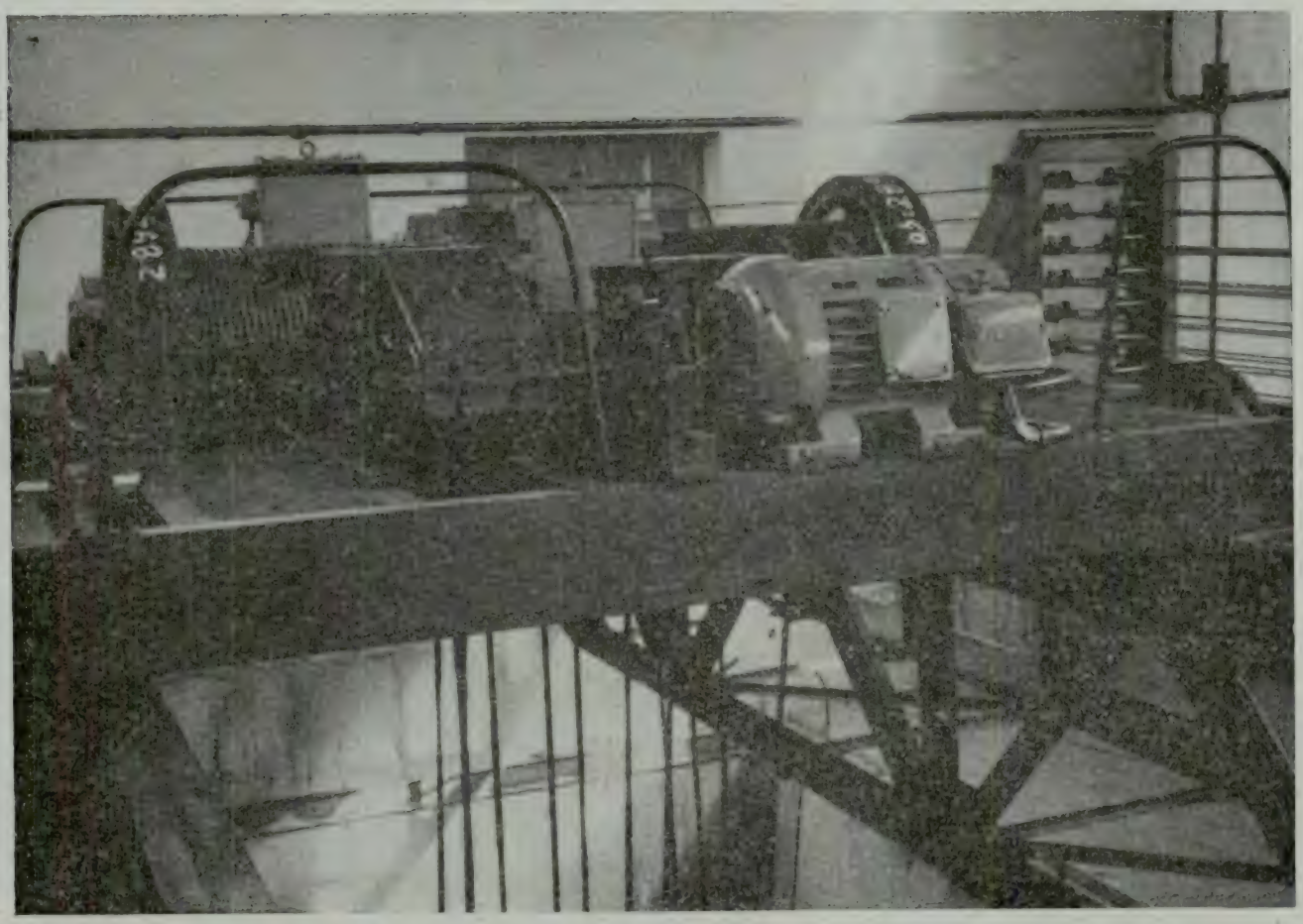
e

$$|G^{-1}A| = \frac{\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}}{\operatorname{sen}^2\theta}$$

MAGUE

CONSTRUÇÕES METALO-MECÂNICAS MAGUE, L.DA
(S. E. MONIZ DA MAIA & VAZ GUEDES, L.DA)

Alverca — Portugal



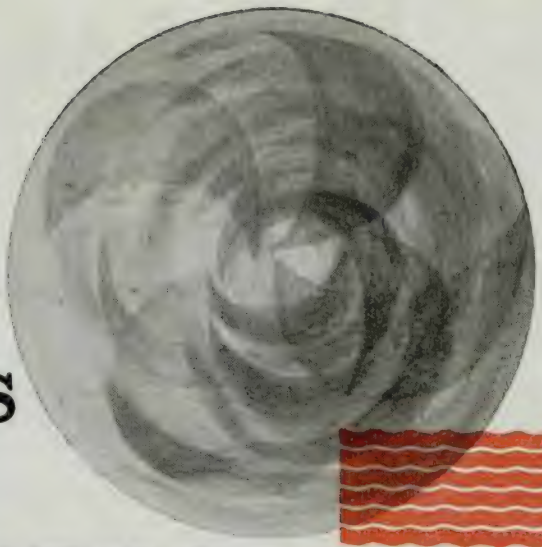
Ponte Rolante de 40 t — 10 t/13,8 m — Aspecto do carro

•

PROJECTO E FABRICO DE

PONTES ROLANTES
GUINDASTES
GRUAS, DERRICKS E GUINCHOS
APARELHOS DE ELEVAÇÃO ESPECIAIS
CONSTRUÇÕES METÁLICAS PESADAS

COMPORTAS
TURBINAS
CONDUTAS FORÇADAS
BLINDAGENS



DIVISÃO METALO-MECÂNICA

COMPANHIA UNIÃO FABRIL

AVENIDA 24 DE JULHO, 170 — LISBOA

comporta da barragem do Maranhão construída pela companhia união fabril

C. D. U. 627.52

MÉTODOS EMPREGADOS NA DEFESA CONTRA A EROSÃO COSTEIRA [1]

POR JOSÉ PIRES CASTANHO

Engenheiro civil, chefe da Secção de Hidráulica Marítima do Laboratório Nacional de Engenharia Civil

I — INTRODUÇÃO

1.1 — GENERALIDADES

O avanço do mar erodindo zonas valiosas de terra é um problema de sempre. Efectivamente, a configuração das costas marítimas está constantemente sujeita a mudanças, as quais podem ser provocadas a longo prazo pela acção dos agentes modeladores naturais, ou verificarem-se mais ou menos bruscamente em virtude de determinadas obras artificiais terem rompido um equilíbrio inicialmente existente.

De qualquer modo, o Homem não se preocupará grandemente com aquelas mudanças senão a partir do momento em que elas interferem com a sua vida ou ameaçam destruir as suas obras. E assim, muitas modificações se têm operado na configuração das costas marítimas sem que se lhes tenha ligado a menor importância. Em virtude, porém, da contínua expansão da utilização das praias para recreio e da construção das instalações consequentes, o Homem sente cada vez mais cada palmo de terra que o mar lhe rouba. Com as suas grandes necessidades de espaço vital, as suas linhas de comunicação audaciosas, as necessidades de recreio e de repouso, é a própria civilização que, construindo as suas habitações, as suas estradas, os seus hotéis, demasiado junto do mar, em locais que, por direito de Natureza a ele pertenciam, tem criado grande parte dos actuais problemas de erosão costeira.

Mas, quer no caso de erosões graduais e lentas, provocadas apenas pela acção dos agentes naturais, quer no caso de erosões aparecidas bruscamente pelo efeito de obras artificiais, o certo é que as obras de defesa contra a erosão costeira são em geral extraordinàriamente caras e os resultados obtidos nem sempre são totalmente satisfatórios. Em determinadas circunstâncias, o custo da defesa poderá ser de tal maneira elevado em relação aos valores a proteger, que melhor será deixar que o mar actue livremente.

Contudo, na grande maioria dos casos, os interesses envolvidos são de tal natureza, ultrapassando mesmo o campo financeiro, que não existe outra solução que não seja a de lançar mão a métodos de defesa para se proteger, à custa seja do que for, determinadas parcelas que o mar ameaça destruir.

Acontece ainda que as próprias obra de defesa, interferindo com o livre caminhamento das aluviões litorais, podem romper o equilíbrio existente em determinadas zonas estáveis e criar nelas problemas de erosão que não se verificavam anteriormente.

Pelas três razões que acabamos de apontar — custo em geral extraordinàriamente elevado; dificuldade em se conseguirem obras totalmente eficazes; interferência nas prais vizinhas — o estudo da solução de um problema de erosão costeira deve ser rodeado de todos os cuidados e a decisão só deve ser tomada depois de uma análise atenta e pormenorizada de todos os factores que possam interferir no problema em causa.

1.2 — MODO DE ENCARAR UM PROBLEMA DE EROSÃO COSTEIRA

O estudo de um problema de erosão costeira deverá constar dos seguintes três passos fundamentais:

1.º — *Estudo da fisiografia local* — Tornar-se-á indis-

---

[1] Trabalho realizado no âmbito do Agrupamento Científico da Junta de Investigações do Ultramar, anexo ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

pensável conhecer as condições em que se processa o movimento dos sedimentos e indagar as razões por que se verifica a erosão. Este estudo implicará um conhecimento tão completo quanto possível da fisiografia local, incluindo o regime da ondulação, das marés, dos ventos, das correntes, do regime aluvionar, etc.

2.º — *Definição concreta do objectivo a atingir* — No plano geral, há fundamentalmente dois tipos de objectivos a atingir:

— Reter apenas o avanço do mar, com o fim de se protegerem obras que correm o risco de ser destruídas;
— Restaurar ou conservar praias para serem utilizadas com fins recreativos e de repouso.

3.º — *Escolha da solução a adoptar* — O tipo da solução a adoptar será uma consequência da fisiografia local e do objectivo a atingir, podendo mesmo acontecer que, em determinados casos, esse objectivo não possa ser completamente atingido.

1.3 – OBJECTIVO DA PRESENTE MEMÓRIA

Como acabamos de dizer, é necessário, para a elaboração de um projecto de defesa contra a erosão costeira, que se conheçam, tão perfeitamente quanto possível, as condições fisiográficas locais e a maneira como se processa a erosão. Só depois será possível definir a solução mais conveniente e o tipo construtivo a adoptar.

Consideraremos aqui conhecida a matéria respeitante ao caminhamento das aluviões ao longo das praias, pelo que podemos enunciar, da seguinte maneira, o problema que nos propomos estudar.

«Conhecido o regime fisiográfico local e a maneira como se processa a erosão na zona que se pretende proteger, determinar, em face do objectivo ou objectivos que se pretendem atingir, o meio mais eficaz de sustar a erosão em causa».

Nesta ordem de ideias, vamos apresentar os principais métodos que têm sido usados na defesa contra a erosão, definindo-os nas suas características gerais e ocupando-nos fundamentalmente do seu funcionamento hidráulico. A referência a casos concretos de erosão, assim como a análise pormenorizada das disposições construtivas usadas nos vários tipos de obras enumerados e os respectivos cálculos de estabilidade, não estão no âmbito da presente memória.

2 — MÉTODOS USADOS NA DEFESA CONTRA A EROSÃO COSTEIRA

2.1 — Diz-se que uma praia ou uma costa se encontram em erosão quando a quantidade de sedimentos que delas sai durante um tempo determinado é superior à quantidade de sedimentos que a ela chega durante o mesmo intervalo de tempo. A noção de erosão aparece-nos, pois, ligada a uma ideia de desequilíbrio do regime normal das praias, desequilíbrio esse que, fundamentalmente, pode provir de duas causas:

1.º — A costa ainda não atingiu a posição de equilíbrio médio compatível com as características dos agentes naturais na sua acção modeladora, a longo prazo;
2.º — A construção de obras artificiais modificou brusca e substancialmente o regime aluvionar da praia. Neste grupo temos a considerar:

a) A interposição na praia de obras avançadas que retenham o caminhamento das areias (esporões, molhes) e
b) as modificações do antigo regime dos rios que fornecem o caudal sólido, devidas à execução de obras de correcção torrencial, aproveitamentos hidroeléctricos, etc.

São quatro os principais métodos que têm sido usados na defesa contra a erosão costeira e que descreveremos a seguir: esporões, quebra-vagas isolados, paredões e alimentação artificial de praias.

2.2 — ESPORÕES

2.2.1 — *Definição*

Um esporão é uma estrutura de protecção costeira, geralmente perpendicular à praia ou fazendo com a normal um ângulo pequeno, cuja função é reter o transporte litoral de areias, de modo a engrossar ou, pelo menos, conservar uma praia que se encontra em erosão.

Os esporões podem ser de tipos muito variados e construídos com diversos materiais: madeira,

estacas pranchas, enrocamento, etc. Podem ainda ser empregados isoladamente, ou em conjunto, constituindo, neste último caso, o que se chama um «campo de esporões».

2.2.2 — *Funcionamento dos esporões. Suas finalidades*

Como acabamos de dizer, os esporões constituem uma barreira ao livre caminhamento das aluviões. A percentagem do transporte litoral que é retida por um esporão depende não só das características deste, mas também das características do próprio transporte litoral.

Consideremos, com efeito, a fig. 1, que representa esquemàticamente um esporão localizado numa costa atacada por uma ondulação oblíqua, a qual provoca um caminhamento de material no sentido indicado pela seta. Como é sabido, este caminhamento processa-se fundamentalmente de

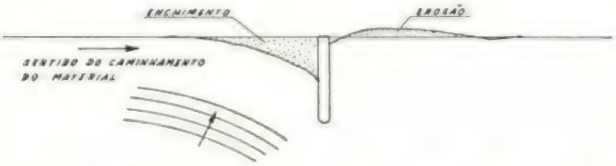


Fig. 1 — Esquematização do funcionamento de um esporão

duas maneiras: por arrastamento, em zig-zag no «estran», ou em suspensão, principalmente junto da linha de rebentação, por efeito da longshore currente (1) (1). As proporções em que estes dois tipos de caminhamento contribuem para o transporte total dependem fundamentalmente da declividade da onda (2). De uma maneira geral, as ondas de maior declividade, colocam maior quantidade de material em suspensão, enquanto que as ondas de pequena declividade provocam um caminhamento de material que se processa fundamentalmente por arrastamento no estran.

Do que acabamos de dizer, pode concluir-se imediatamente que um determinado esporão razoàvelmente eficiente para um tipo de ondulação de pequena declividade, pode ser totalmente ineficiente para ondas muito declivosas, desde que o seu comprimento não seja suficientemente grande.

Voltando à fig. 1, que representa esquemàticamente um esporão, vejamos como se processa a acumulação de material.

Consideremos o perfil da praia antes da construção do esporão. Após a construção deste, o material acumula-se junto à face de barlamar, enquanto que na zona de sotamar, devido à redução da alimentação, a costa recua. Uma vez que, na extremidade do esporão, a cota será a mesma para o perfil de barlamar e de sotamar, resultará que o talude do lado de barlamar se tornará mais áspero, enquanto que o de sotamar se suaviza. Por outro lado, devido a um processo selectivo, pelo qual o material mais fino transpõe mais fàcilmente o esporão, verifica-se que o material depositado representa a fracção mais grosseira do material em transporte.

A maneira como, em planta, se processa o enchimento da praia de barlamar, depende das características das ondas, das características da obra e ainda do material.

Uma tentativa de teorização do fenómeno foi feita por Pelnard-Considère, na sua comunicação apresentada às IV Journées de l'Hydraulique, Paris 1956 (3).

Consideremos uma praia rectilínea e um molhe nela enraizado e seja o sentido do caminhamento das areias o indicado pela seta (fig. 2).

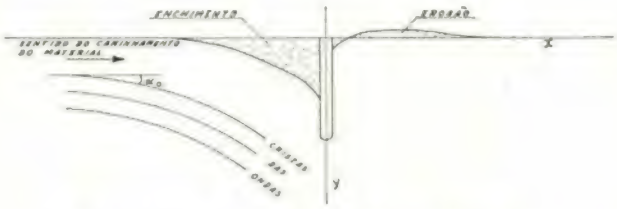


Fig. 2 — Modo de enchimento de um esporão

Se for:

α_0 — o ângulo formado pelas cristas das ondas com a direcção da praia inicial

x, y — as coordenadas no sistema de eixos indicados na figura

t — o tempo, contado a partir da construção do esporão

S_0 — a superfície anual de acumulação de base, igual a $\frac{q_0}{h}$, ou seja a superfície que o caudal sólido anual ocuparia se se distribuisse numa camada uniforme de profundidade h

q_0 — o caudal sólido,

(1) Os números entre parêntesis correspondem à lista das referências bibliográficas.

demonstra aquele autor que, ao fim de um tempo t, as sucessivas formas da praia em assoreamento constituem uma família de curvas cuja equação é

$$y = \frac{\operatorname{tg} \alpha_0}{\sqrt{\pi}} \sqrt{4\,at}\; e^{-\frac{x^2}{4\,at}} - x\sqrt{\pi}\; E\left(\frac{x}{\sqrt{4\,at}}\right)$$

sendo E (u) o conhecido integral

$$\frac{2}{\pi}\int_u^{\infty} e^{-q^2}\, dq$$

e que se pode calcular por meio de tabelas, e $a = \frac{S_0}{\operatorname{tg} \alpha_0}$. Se quisermos determinar as distâncias a que a curva correspondente ao instante *t* corta os eixos das abcissas e ordenadas, ou sejam a praia inicial e o esporão, elas serão dadas por:

$$x = 2\sqrt{at/\pi} \quad \text{e} \quad y = 2 \operatorname{tg} \alpha_0 \sqrt{at/\pi}$$

Como dissemos, o que caracteriza fundamentalmente um esporão é o facto de ser uma obra transversal (em geral normal à praia) e de actuar por modificação no transporte litoral.

As finalidades com que se constroem esporões são, em geral, as seguintes:

a) Estabilizar uma praia sujeita a períodos intermitentes de recuo e avanço;

b) Construir ou alargar uma praia, por retenção do transporte litoral;

c) Evitar a saída de material de uma praia sub-alimentada e que interessa conservar;

d) Evitar o assoreamento de uma zona a sotamar, actuando como obstáculo litoral.

As alíneas *a*), *b*) e *c*) referem-se pròpriamente a erosão costeira, enquanto que a alínea *d*), situando-se num plano oposto, tem interesse quando se pretende proteger a entrada de um porto ou de um canal navegável contra a entrada de aluviões.

2.2.3 — *Características dos esporões*

2.2.3.1 — *Tipos de esporões*

Os esporões podem classificar-se:

1.º — *Em permeáveis e impermeáveis* — Nos primeiros, a estrutura é tal que não constitui uma barreira total ao caminhamento das areias. Tais esporões têm sido usados com o fim de evitar um corte brutal no transporte litoral. A sua capacidade de acumulação é em geral pequena e o seu custo é normalmente inferior ao dos esporões impermeáveis. Os esporões permeáveis começaram a ser usados à semelhança dos «diques permeáveis» empregados na estabilização de margens de rios, os quais têm dado óptimos resultados. Acontece, porém, que no caso de ser a onda o principal agente de transporte, as obras permeáveis se têm mostrado quase totalmente ineficazes, pelo que o seu uso não é de aconselhar.

2.º — *Em altos e baixos* — A quantidade de areia que passa através de um esporão depende, entre outros factores, da cota do seu coroamento. No caso de estas obras terem função de retenção, sendo portanto desejável que passe o mínimo possível de areia, os esporões devem ser suficientemente altos para evitar a transposição das aluviões por cima da obra. Pelo contrário, quando houver conveniência em não reter todo o transporte litoral, poderão ser construídos esporões «baixos» que permitam a transposição de parte do material em transporte. Tais esporões baixos têm no fundo a mesma finalidade que os esporões permeáveis e conseguem cumprir a sua missão com mais eficiência.

3.º — *Em fixos e ajustáveis* — De uma maneira geral, os esporões são obras fixas, mas casos há em que convém ajustá-los de acordo com o estado da praia. Tais esporões são normalmente constituídos por pranchas colocadas entre os pilares e cuja cota é mantida a um determinado valor (cerca de 50 cm) acima do nível da areia, permitindo que uma considerável porção de aluviões passe por cima do esporão.

Os esporões ajustáveis têm especial interesse quando se pretende alargar uma praia com um mínimo de prejuízo sobre as praias situadas a sotamar. Para que tais obras sejam eficazes, é necessário, contudo, que exista uma adequada alimentação de caudal sólido litoral.

2.2.3.2 — *Dimensões dos esporões*

A largura e a inclinação dos taludes de um esporão são ditados por factores construtivos e de resistência aos esforços a que os mesmos são

submetidos, e variam consoante o tipo de esporão e o material com que são construídos.

Pelo contrário, o comprimento e a cota de coroamento são ditados pelo funcionamento hidráulico do esporão.

No que diz respeito ao comprimento, ele é determinado pelas profundidades exteriores e pela medida em que se pretende que ele intersepte o transporte litoral. Do ponto de vista funcional, os esporões têm normalmente 3 zonas:

1.º — *Zona do enraizamento* — Esta zona (ver fig. 3) é, em geral, horizontal e deve estender-se desde a localização que se pretende para a crista da berma da praia até um local em terra que permita o conveniente enraizamento da obra. A cota desta primeira zona do esporão varia consoante se pretende ou não que a areia o transponha.

De qualquer modo, a cota mínima deverá ser a cota desejada para a berma, que normalmente será igual ao nível máximo atingido pelas águas. No caso de se pretender reter toda a areia, a cota do esporão deve ser um pouco superior ao do mais alto nível atingido pelas águas.

Fig. 3 — Perfil longitudinal típico de um esporão

2.º — *Zona intermédia* — A zona intermédia do esporão que se estende desde a zona do enraizamento até à zona final deve ter uma inclinação aproximadamente igual à da praia que se espera ele venha a criar.

3.º — *Zona terminal* — Finalmente é corrente incluir nos esporões uma parte terminal, em geral horizontal, e cuja cota de coroamento depende por um lado do processo de construção e, por outro lado, da medida em que se deseja interseptar o transporte litoral.

2.2.4 — *Principais limitações no emprego de esporões*

As principais limitações no emprego de esporões como estruturas de defesa contra a erosão costeira são:

a) Os esporões só poderão ter efeito desde que exista um transporte litoral apreciável, o que implica, por um lado, a existência de uma fonte de alimentação de areias e, por outro, uma certa obliquidade das ondas em relação à costa.

No caso de as ondas serem paralelas à costa não será de esperar efeito algum da construção de esporões.

b) Quando o transporte litoral é pequeno e existe um estreito balanço entre a quantidade de areia que chega e a que parte, a interrupção do caminhamento litoral provocada por um esporão pode ocasionar erosões catastróficas nas zonas situadas a sotamar. Se não forem tomados cuidados especiais, o enraizamento do esporão pode ficar em perigo devido à erosão a sotamar.

c) A eficiência dos esporões reduz-se apreciàvelmente nos casos em que a direcção da ondulação é bastante variável.

2.2.5 — *Esporões em L e Z. Campos de esporões*

Como dissemos atrás, a zona de sotamar dos esporões fica normalmente sujeita a erosões provocadas pela interrupção do transporte litoral. As medidas que têm sido tomadas contra as referidas erosões são:

1.º — *Paredão a sotamar* — Esta medida (ver fig. 4) tem sido usada desde há muito tempo, e pode ter efeitos satisfatórios quando a erosão que se verifica na extremidade do paredão não for muito violenta.

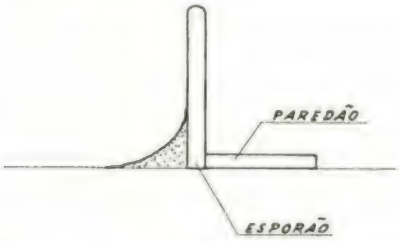


Fig. 4 — Protecção da zona de sotamar de esporão por meio de paredão

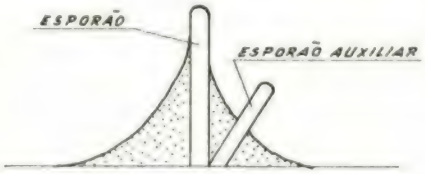


Fig. 5 — Esporão auxiliar de protecção

2.º — *Esporão auxiliar* — Um segundo esporão, de menor importância, (fig. 5) e colocado em V em relação ao primeiro, evita a erosão na vizinhança imediata do esporão principal, mas é um método caro e o seu efeito limita-se a uma área pequena.

3.º — *Esporões em T* — Nestes esporões (fig. 6) as correntes de onda, originadas pelo efeito da difracção, provocam a acumulação do material de ambos os lados do esporão (*), embora esta seja mais importante do lado de barlamar.

4.º — *Esporões em L* — Nestes esporões (fig. 7) o quebra-vagas paralelo à costa, provoca, pelo mesmo efeito da difracção, a acumulação de material na zona imediatamente a jusante do esporão.

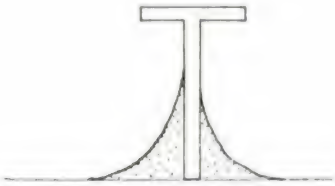


Fig. 6 — Esporão em T

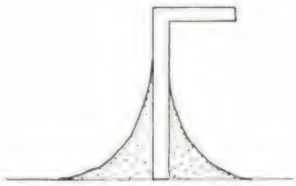


Fig. 7 — Esporão em L

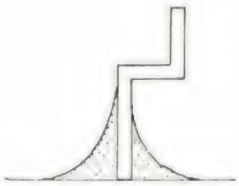


Fig. 8 — Esporão em Z

5.º — *Esporões em Z* — Estes esporões (fig. 8) têm o mesmo efeito que os anteriores, mas apresentam a vantagem de serem normalmente mais baratos do que os esporões em L, em virtude de o quebra-mar ficar situado em menores profundidades.

Estudos laboratoriais têm conduzido à conclusão de que, dentro das várias soluções que acabamos de apresentar, os esporões em Z são aqueles que mais eficazmente protegem a zona de jusante de um esporão.

6.º — *Alimentação artificial* — A alimentação artificial, que tem sido usada sobretudo na América, constitui ainda um último método de protecção contra as erosões verificadas na zona de jusante dos esporões.

Campos de esporões

Quando houver que proteger ou regenerar uma grande extensão de praia, tem de se recorrer a um conjunto de esporões devidamente espaçados e que constituem o que se chama um «campo de esporões». O espaçamento a dar a estes é função do seu comprimento, da direcção das ondas, e da intensidade do transporte litoral. Com efeito, consideremos um esporão situado numa costa onde se verifica um transporte litoral no sentido indicado na fig. 9.

Como vimos anteriormente, a praia a barlamar do esporão encherá segundo uma configuração (E_1 E_2) que depende das características da ondulação e do material sólido, protegendo a praia inicial até ao ponto E_2. Neste ponto deverá ser construído um novo esporão que protegerá uma nova zona da praia e assim sucessivamente.

Se se pretender que a praia a jusante de E_2 tenha uma largura determinada, então o esporão E_2 deve ser deslocado para E'_2, de modo a conseguir-se, junto ao seu enraizamento, a largura da praia desejada.

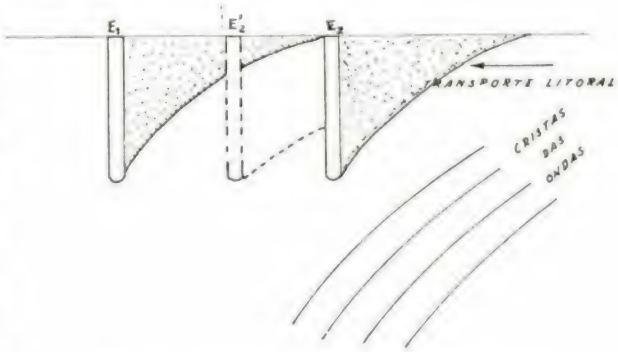


Fig. 9 — Esquema de um campo de esporões

Pelo que acabamos de dizer, verifica-se que o afastamento a dar aos esporões é função não só do comprimento destes, mas também das características da ondulação, não sendo portanto possível estabelecer regras gerais. Mostra contudo a experiência que, para as inclinações com que as ondas normalmente atacam as costas, o espaçamento entre esporões não deve ser superior a 1,5 ou 2 vezes o seu comprimento.

(*) — O efeito do quebra-vagas que constitui uma das partes do T é o mesmo que se verifica num quebra-vagas isolado, de que falamos mais adiante.

Ordem de construção dos esporões

Até aqui temos considerado que o enchimento da praia junto ao esporão é provocado pelo próprio transporte natural ao longo da costa. No caso, porém, de este transporte ser demasiado pequeno, ou, principalmente, no caso de não se consentirem erosões importantes a jusante do esporão, pode recorrer-se ao enchimento artificial das praias. Neste caso, a única interrupção no transporte litoral dá-se no intervalo que medeia entre a construção da obra e o enchimento artificial.

Do ponto de vista económico há interesse em que as várias parcelas sejam enchidas na mesma ocasião, devendo, por conseguinte, os vários esporões ser construídos simultâneamente, ou pelo menos sem grandes intervalos de tempo. O enchimento artificial deve iniciar-se logo que o estado de construção dos esporões o permita.

No caso, mais corrente, de o enchimento das praias se verificar por efeito do transporte sólido natural, a construção simultânea dos vários esporões poderia ocasionar sérias erosões junto aos esporões de sotamar, os quais só passariam a ter efeito de retenção depois de os esporões de montante estarem saturados e serem contornados pelas areias. Conclui-se, pois, que a construção se deve iniciar pelo esporão mais a sotamar e que, só depois de este estar saturado, se deve iniciar a construção do segundo esporão, e assim sucessivamente. Este processe apresenta ainda a vantagem de ser um guia prático para a fixação do afastamento entre esporões, permitindo assim corrigir o afastamento prèviamente fixado.

Convém notar que, a sotamar do 1.º esporão construído, continuará a haver risco de erosão, pelo que convirá que este seja enraizado junto de um ponto naturalmente resistente, por exemplo numa zona rochosa ou junto à embocadura de um rio que constitua uma importante fonte de alimentação de material sólido. No caso de uma tal solução não ser possível, pode recorrer-se a qualquer dos sistemas que anteriormente indicámos para um esporão isolado ou ainda diminuir-se gradualmente o comprimento dos esporões à medida que se caminha para sotamar, de modo a que o poder de retenção dos mesmos diminua também progressivamente e o caminhamento das aluviões não seja totalmente interrompido.

A fotografia da fig. 10 mostra um campo de esporões construídos para defesa da Ilha de Luanda.

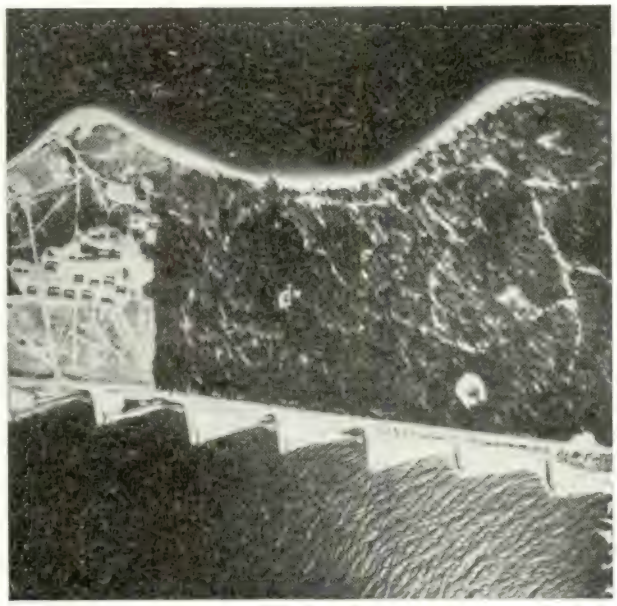


Fig. 10 — Fotografia de um campo de esporões (Luanda)

2.2.6 — *Tipos construtivos*

Os materiais vulgarmente empregados na construção de esporões são o betão, o aço, a pedra e a madeira. Nalguns casos particulares, tem sido feita aplicação de asfaltos.

Esporões de betão

Os esporões de betão são constituídos por blocos pré-fabricados, podendo obter-se esporões permeáveis ou impermeáveis. Um exemplo típico dos primeiros é o que é formado à custa de elementos de betão armado pré-fabricados, os quais, depois de montados, deixam ficar os vazios que tornam o esporão permeável.

Esporões metálicos

Os esporões metálicos construídos com estacas-pranchas, podem ser do tipo celular ou de paramento plano. Um exemplo típico dos primeiros está representado na fig. 11 e é formado por células de vários tamanhos, cada uma delas constituída por paredes semi-circulares ligadas por septos planos.

As células são enchidas com areia ou pedra a

fim de se aumentar a estabilidade. Em muitos casos, as células são superiormente cobertas por uma laje de betão que serve para reter o material, ao mesmo tempo que constitui uma plataforma de acesso.

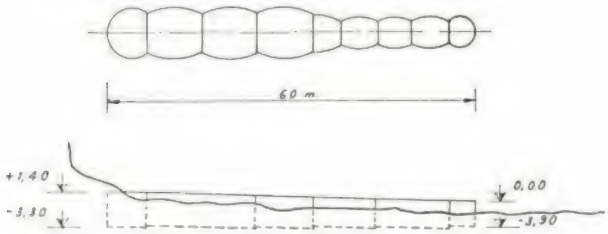


Fig. 11 — Exemplo esquemático de um esporão celular metálico

O segundo tipo de esporões metálicos é constituído por estacas-pranchas cravadas no terreno e formando um paramento plano.

No seu topo superior, são as estacas-pranchas ligadas por cintas, muitas vezes de madeira. Com o fim de se aumentar a estabilidade, o conjunto pode ser reforçado por meio de estacas circulares de madeira, cravadas do lado de fora das estacas metálicas, conforme se mostra na fig. 12.

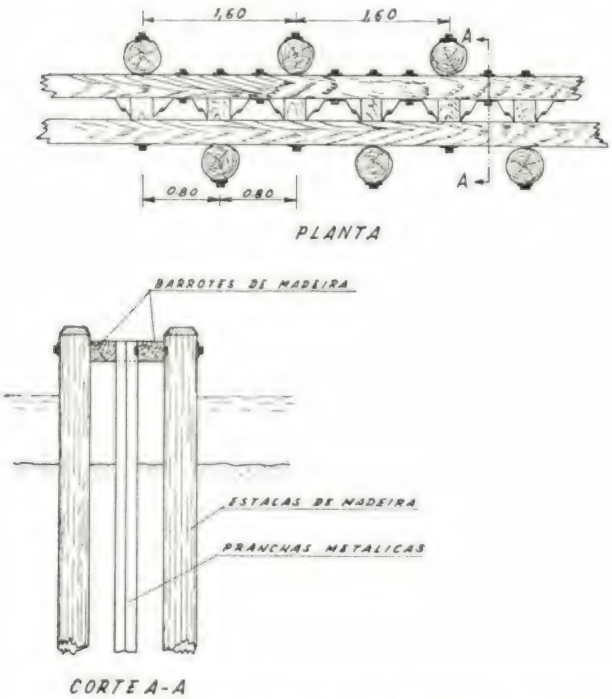


Fig. 12 — Esporão típico de estacas pranchas metálicas

Esporões de pedra

Os esporões de pedra são provàvelmente os mais empregados e os de mais simples execução. São normalmente construídos em enrocamento natural, mas alguns esporões permeáveis têm sido construídos com blocos de pedra talhada.

O protótipo do esporão de pedra impermeável é o que se apresenta na fig. 13 e é constituído por um núcleo de pedra de todo o tamanho contendo material suficientemente fino para que se torne impermeável à passagem de areia, e por uma carapaça resistente destinada a suportar a acção das ondas. A secção transversal do esporão e o peso da pedra a empregar variam, para cada caso, com as condições de ataque das ondas e com os métodos de construção, mas podemos dizer que o esporão representado na fig. 13 é um caso típico dos esporões de pedra.

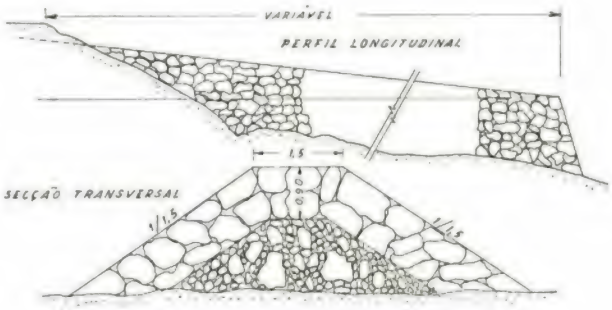


Fig. 13 — Esporão típico de enrocamento

Com o fim de se aumentar a impermeabilidade dos esporões de pedra, introduz-se, às vezes, no núcleo, uma cortina de estacas que podem ser estacas-pranchas, e, noutros casos, tem-se injectado, nos vazios, uma argamassa rica de cimento.

Ainda como variante do caso típico dos esporões de pedra, fazemos referência àqueles esporões que são construídos à custa de uma armação formada por uma cortina de estacas de madeira, a qual é em seguida enchida com pedra natural (caso de alguns esporões da defesa da ilha de Luanda).

No caso de se desejarem esporões permeáveis, deverá reduzir-se, tanto quanto possível, a largura da secção transversal, e eliminar-se do núcleo tudo que seja material fino e possa contribuir para uma diminuição da permeabilidade.

Os esporões construídos em blocos de pedra talhada são, em geral, razoàvelmente permeáveis.

Esporões de madeira

O tipo mais vulgar de esporão de madeira é constituído por uma cortina de pranchas de ma-

em todo o mundo...

MICHIGAN...

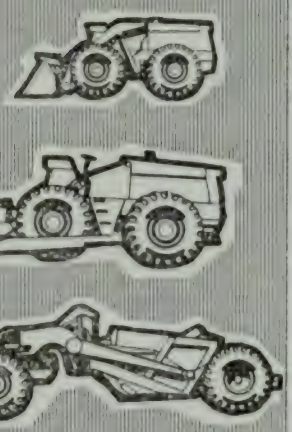
está em acção

PROPORCIONANDO MAIORES LUCROS
ECONOMIZANDO TEMPO E DINHEIRO

- NA CONSTRUÇÃO CIVIL
- NAS OBRAS PUBLICAS
- NA INDÚSTRIA
- NAS MINAS
- NOS AREEIROS
- NAS PEDREIRAS
- NA ARMAZENAGEM

rapidez,
facilidade de manobra,
baixo custo

CLARK EQUIPMENT



A2-3-60

ROMAR

UMA ORGANIZAÇÃO AO SERVIÇO DA INDÚSTRIA

LISBOA
R. DA BOA VISTA, 83-1.º-D.
TELEFS. 672161/2/3/4/5

LUANDA
L. MARQUES

PORTO
R. DE SÁ DA BANDEIRA, 589
TELEFS. 25871-32205

EXPONHA-NOS O SEU PROBLEMA
O NOSSO GABINETE TÉCNICO ENCONTRARÁ A SOLUÇÃO ADEQUADA

ESTAMPARIAS TINTURARIAS LAVANDARIAS

PARA OS VOSSOS TECIDOS TECNICOS:
TRANSPORTADORES MANKONS, LAPPING, WOLFRIES.
FLANELAS, CANEVAS, ETC.,

EM FIBRAS NATURAIS OU SINTÉTICAS

Consultem:

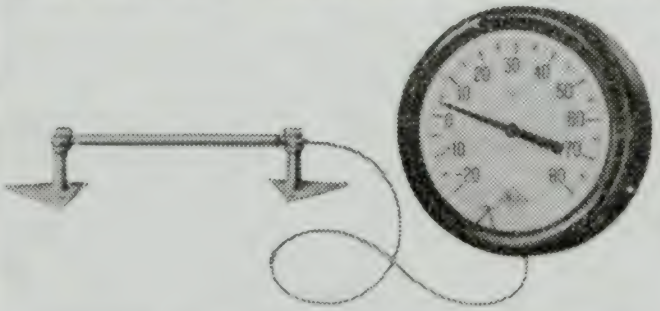
FÁBRICA NACIONAL DE FELTROS INDUSTRIAIS
SOCIEDADE LIMITADA

APART.: 9
TELEF.: 93
TELEG.: FELTROS

OVAR
PORTUGAL

ESCRITÓRIO E FÁBRICA
ESTRADA DE S. JOÃO

Leituras claras e rigorosas



Termómetros de mostrador para todos os fins industriais com a garantia NEGRETTI & ZAMBRA quanto a precisão e robustez.
À esquerda, um dos novos tipos "Standard" e, à direita, um dos modelos próprios para motores Diesel — apenas dois exemplos de uma larga gama abrangendo centenas de modelos.
Grande variedade de modelos para entrega imediata na fábrica.

NEGRETTI & ZAMBRA

Peça catálogo em Português aos Representantes exclusivos em *Portugal e Provincias Ultramarinas*:
MARTIN LESLIE & CIA. LDA.
Campo das Cebolas, 43 3.º D.-LISBOA-2
Tel. 3 28 24 e 3 52 34

Sede: NEGRETTI & ZAMBRA LTD.
Regent Street, London W.1

deira, travadas por meio de cintas e suportadas por estacas.

Os esporões de madeira são normalmente estruturas impermeáveis, mas é possível conseguirem-se obras permeáveis deixando espaços livres entre as pranchas que constituem a cortina.

Todas as peças de madeira devem ser tratadas com creosote ou produtos equivalentes antes da sua aplicação.

Um exemplo típico de esporão de madeira é o que está representado na fig. 14.

Esporões constituídos por areia com recobrimento betuminoso

Em casos de mares pouco severos, tem ainda sido empregado um outro tipo de esporão, constituído por material de enchimento coberto com um produto betuminoso. Uma tal obra não deixa, no entanto, de correr um certo risco (fig. 15).

2.2.7 — *Escolha do tipo de esporão*

Cada praia tem as suas características peculiares: maré, ondulação, transporte litoral, fauna marinha, etc.

Na escolha do tipo de esporão a empregar em cada caso concreto, há que atender não só ao regime fisiográfico da praia em questão, como ainda às características das fundações, à disponibilidade e custo dos materiais de construção, despesas de conservação e uso que se pretende dar à zona regenerada.

Assim, uma praia sujeita a forte ondulação requere estruturas robustas, de pedra, betão ou aço, sendo de evitar estruturas de madeira, sempre mais frágeis. Quando muito, poder-se-á, em tais circunstâncias, empregar madeira na zona adjacente à praia e materiais mais robustos na parte restante.

As características do terreno de fundação devem ser examinadas com cuidado, sendo aconselhável a realização de sondagens geológicas.

Os esporões de pedra são pràticamente aplicáveis com todo o tipo de terrenos.

Quando as características deste são demasiado

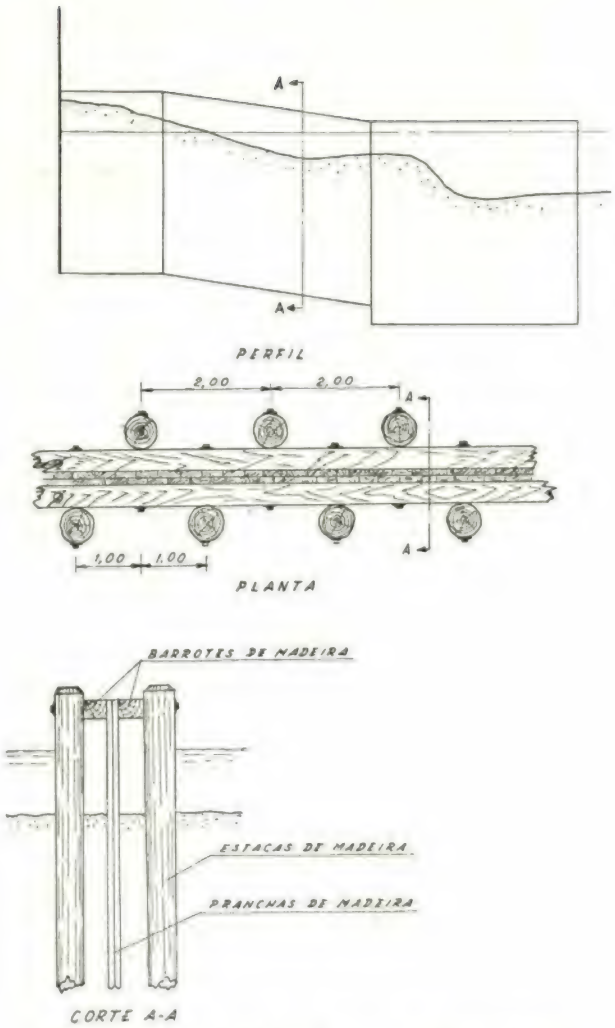


Fig. 14 — Exemplo típico de esporão de madeira

fracas ou no caso de ser difícil a penetração de estacas, podem construir-se esporões do tipo celular, se bem que o seu custo seja geralmente elevado.

A disponibilidade dos materiais de construção afecta a escolha do tipo de esporão a empregar, manifestando-se, no fim de contas, sob o aspecto económico. Pode, com efeito, acontecer que o material mais adequado no caso normal só possa conseguir-se a um preço consideràvelmente alto, sendo-se assim obrigado a renunciar ao seu emprego.

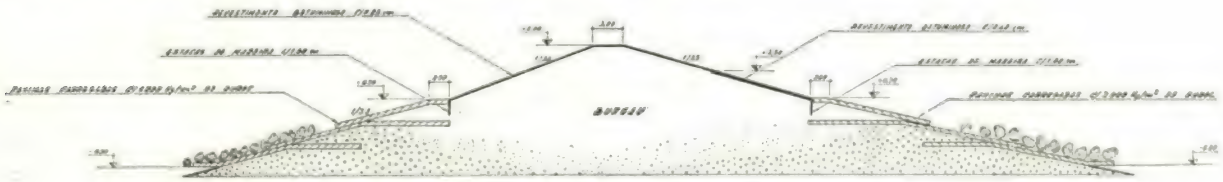


Fig. 15 — Esporão recoberto de asfalto

O estudo do custo do esporão deve tomar em consideração não só o custo do primeiro estabelecimento, como ainda a vida económica do material e os gastos de conservação. No que se refere ao custo do primeiro estabelecimento, os esporões de madeira e às vezes os de estacas pranchas metálicas são mais baratos que os respeitantes aos restantes tipos construtivos (betão e enrocamentos). Mas estes, por sua vez, têm uma vida muito mais longa e requerem menores gastos de conservação.

Em resumo, as verbas disponíveis para as obras iniciais, os encargos anuais de conservação, e a vida que se deseja para a obra, são factores decisivos na escolha do tipo de esporão a adoptar.

2.3 — QUEBRA-VAGAS ISOLADOS DA COSTA

2.3.1 — *Definição*

Um quebra-vagas isolado é uma obra de protecção costeira, sensìvelmente paralela à costa e sem qualquer ligação com a praia que se pretende regenerar. Subsidiàriamente, o quebra-vagas abriga a mesma praia da ondulação exterior.

2.3.2 — *Funcionamento hidráulico dos quebra-vagas isolados*

Suporemos o caso mais corrente de existir um certo transporte litoral provocado pela obliquidade das ondas em relação à praia.

Consideremos, pois, uma costa rectilínea, e atacada pelas ondas cujas cristas estão representadas na fig. 16. Se interpusermos à ondulação o quebra-vagas representado na figura, a zona da praia situada por detrás deste ficará abrigada, apenas sofrendo o efeito das ondas difractadas segundo o esquena indicado.

Ficamos, por conseguinte, com uma zona (zona 2) onde a agitação é inferior às zonas vizinhas (1 e 3). Como é sabido, em tais condições, geram-se correntes dirigidas das zonas mais agitadas para as zonas calmas e cujas velocidades podem atingir valores apreciáveis. Tais correntes, transversais, isto é, dirigidas segundo a direcção das ondas, têm sido explicadas, quer por diferença de transporte de massa, quer por diferença de sobreelevação do nível médio. De qualquer modo, o efeito das referidas correntes será uma acumulação, na zona 2, de areias vindas não só da zona 1, como ainda em parte da zona 3. É claro que, a partir de um determinado ponto desta zona, se restabelece o caminhamento litoral normal, provocado pela obliquidade das ondas.

A forma precisa do depósito é difícil ou impossível de prever. De uma maneira geral, a praia imediatamente atrás do quebra-vagas é convexa, fazendo-se a ligação aos dois troços adjacentes por curvas côncavas, o que equivale, no fundo, a dizer que o depósito obtido toma uma forma semelhante ao plano de difracção (fig. 16), (o que não é destituído de lógica).

Segundo a teoria do professor Iribarren (4), é a sobreelevação do nível médio que, sendo maior na zona mais agitada, gera as correntes que provocam o depósito de areia atrás do molhe. Ora, aumentando a referida sobreelevação com a amplitude da onda e diminuindo com a profundidade de água, acontecerá que, em virtude do depósito verificado na zona mais calma, as profundidades nesta zona irão diminuir, o que faz aumentar a sobreelevação do nível médio, de tal modo que, como resultado final, se chegará a

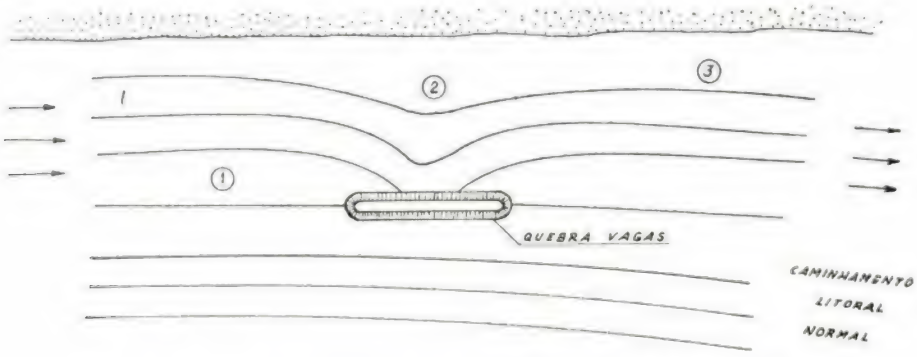


Fig. 16 — Funcionamento de um quebra-vagas isolado da costa

uma posição de equilíbrio, motivado pela igualdade daquelas sobreelevações. Teòricamente pelo menos, seria possível, por tentativas, conseguir uma configuração das batimétricas a que correspondesse uma igualdade, em toda a zona, da sobreelevação do nível médio, obtendo-se assim a forma final de equilíbrio da praia.

Na realidade, porém, os fenómenos não se passam com a simplicidade referida, principalmente no caso de haver uma certa obliquidade das ondas em relação à praia, de modo que, como atrás dissemos, a forma exacta do depósito de areias é pràticamente impossível de determinar.

Qualitativamente, porém, o fenómeno observado é normalmente o seguinte:

À medida que a areia começa a ser depositada, forma-se uma saliência na costa situada atrás do quebra-vagas. Esta saliência passa a actuar como um esporão, retendo o caminhamento litoral e aumentando por conseguinte a eficiência do quebra-vagas. Se o comprimento deste é suficientemente grande em relação à sua distância à costa, de modo a reter pràticamente todo o transporte litoral, o depósito de areia começará a aumentar até ligar ao quebra-vagas, dando origem a uma formação que recebe o nome tômbolo (Ver fig. 17).

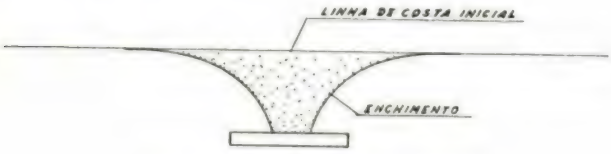


Fig. 17 — Exemplo de um tômbolo

2.3.3 — *Características dos quebra-vagas isolados*

2.3.3.1 — *Comprimento e distância à costa*

Pelo que atrás dissemos sobre o funcionamento hidráulico dos quebra-vagas isolados, compreendemos fàcilmente não terem ainda sido estabelecidas relações definitivas entre o comprimento do quebra-vagas e a sua distância à costa.

No entanto, é fácil de compreender que tais relações existam. Com efeito, se o comprimento do quebra-vagas é pequeno em relação à sua distância à costa, o abrigo por ele provocado é fraco e a eficiência da obra será pequena. Haverá assim, em cada caso, e para uma dada distância à costa, um comprimento do quebra-vagas abaixo do qual a eficiência de retenção diminui muito fortemente.

Pelo contrário, um quebra-vagas de grande comprimento pode originar a criação de um tômbolo, retendo a totalidade do transporte litoral, o que poderá ter inconvenientes na zona de sotomar. Neste caso, será sempre preferível começar por construir uma estrutura de pequeno comprimento, a qual poderá posteriormente ser aumentada, se necessário.

2.3.3.2 — *Altura dos quebra-vagas*

Do ponto de vista da cota do seu coroamento, os quebra-vagas isolados podem ser classificados em submersos e imersos.

Os quebra-vagas submersos são aqueles em que a cota do coroamento é inferior ao nível do baixa-mar. Tais quebra-vagas têm sido usados com o fim de reterem as areias litorais, ou apenas com o fim de reduzirem a agitação junto à costa pelo facto de provocarem a rebentação das ondas.

A eficiência de tais quebra-vagas depende fundamentalmente da proporção em que a energia das ondas é dissipada, a qual, por sua vez, é função da relação entre a profundidade da água e a distância do coroamento da obra à superfície da água (2)

Os quebra-vagas imersos são quer aqueles que imergem nas águas baixas, quer aqueles cujo coroamento é mais alto do que o nível máximo das águas.

A sua eficiência depende também da energia da onda que os transpõe, a qual, no caso de um quebra-vagas permanentemente imerso é apenas a que penetra por difracção ou por galgamento.

c) *Quebra-vagas em série* — No caso de o quebra-vagas necessário à protecção da praia ser de grande comprimento, poderá ser construída uma série de pequenos quebra vagas, separados uns dos outros, cujo custo será evidentemente menor. A eficiência do conjunto será, em geral, um pouco menor do que a eficiência do quebra-vagas único, o que em certos casos poderá ser uma vantagem, em virtude de não ser conveniente reter a totalidade do transporte litoral.

É evidente que o afastamento dos quebra-vagas parciais tem de ser suficientemente pequeno para que haja efectivamente redução da energia das ondas.

2.3.4 — *Tipos construtivos*

Existem alguns perfis-tipo de quebra-vagas, de acordo com o material com que são construídos e os esforços a que estão sujeitos. Os materiais de construção mais usados são: pedra, betão, aço e madeira. Ocasionalmente têm sido empregados também asfaltos, betumes e fascinagens.

A escolha do material ou combinação de materiais para a construção de um quebra-vagas depende das características dos agentes actuantes e de circunstâncias económicas.

a) *Quebra-vagas de enrocamento* — Os quebra-vagas de enrocamento constituem o tipo mais correntemente usado, em virtude de ser aplicável a qualquer profundidade de água e poder ser pràticamente usado com qualquer tipo de fundação.

As principais vantagens deste tipo de estrutura são: os assentamentos e os desgastes da obra não conduzem, em geral, a uma destruição da mesma, mas, pelo contrário, contribuem para um aumento da sua estabilidade, desde que, evidentemente, os estragos sejam devidamente reparados; a rugosidade e a porosidade do maciço de enrocamento conduzem a valores bastante baixos do coeficiente de reflexão, ou, por outras palavras, a energia da onda é fortemente dissipada no talude, quer por atrito contra o enrocamento, quer por rebentação.

A principal desvantagem dos quebra-vagas de enrocamento é a grande quantidade de material exigido para a sua construção, a qual conduz normalmente a um elevado custo de primeira instalação.

Um perfil tipo de quebra-vagas de enrocamento é o que se mostra na fig. 18.

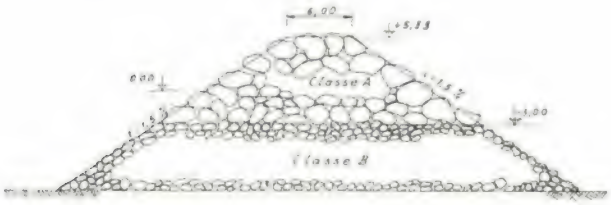


Fig. 18 — Exemplo típico de um quebra-vagas de enrocamento

No caso de se desejar uma certa economia e rapidez na construção, pode substituir-se o enrocamento da base e do núcleo por areia e argila devendo haver grande cuidado na escolha da qualidade da argila. É possível conseguir economias importantes quando se utiliza no núcleo a areia proveniente de dragagens.

A fig. 19 mostra um exemplo de quebra-vagas com núcleo de areia protegido por argila, sendo a carapaça resistente constituída por enrocamento natural.

Fig. 19 — Quebra-vagas com núcleo de areia e argila

b) *Quebra-vagas de blocos artificiais* — Se não existe, no local da obra, pedra na quantidade necessária, ou do tamanho exigido para a carapaça resistente, pode recorrer-se à construção de blocos artificiais de betão de variadas formas, os mais correntes dos quais são os blocos cúbicos, os blocos paralelopipédicos e os tetrápodos.

Os referidos blocos podem ser arrumados ou colocados a granel.

c) *Tipo mixto* — É também corrente o tipo de quebra-vagas constituídos por uma infraestrutura de enrocamento natural e uma superestrutura de betão, o que conduz normalmente a economia dos enrocamentos. Podemos, neste grupo de quebra-vagas, considerar dois tipos distintos: no primeiro, os enrocamentos servem apenas de fundação a uma estrutura vertical de betão; no segundo existe uma carapaça resistente de enrocamento onde a energia da onda se dissipa pelo menos parcialmente e sobre a qual assenta uma superestrutura de betão de pequena altura, cujo paramento pode ser plano-vertical ou inclinado-curvo ou em degraus.

Deve ter-se em atenção que as fundações de enrocamento requerem algum tempo para serem estáveis e devem ser colocados um ou mais anos antes da construção da superestrutura. Deve ainda ter-se em atenção que o jacto da onda, ao cair sobre cs enrocamentos que servem de base à superestrutura, tem tendência a arrancá-los, o que pode pôr em perigo a superestrutura.

d) *Caixões de betão armado* — Um outro tipo de quebra-vagas é constituído por caixões de betão armado que são transportados a flutuar até ao local de aplicação, assentes numa fundação prèviamente preparada e enchidos depois com pedra ou areia para assegurar a sua estabilidade. Existem dois tipos fundamentais de caixões:

no primeiro, o fundo é de betão armado e faz parte integral do caixão; no segundo, existe apenas um fundo provisório, em geral de madeira, que é retirado depois de o caixão ser colocado sobre a fundação. Neste último caso, a pedra que enche os compartimentos, combina-se com o material da fundação donde resulta um acréscimo de resistência contra os movimentos horizontais do caixão.

A fundação, normalmente constituída por um tapete de enrocamento, deve ser preparada para suportar a estrutura e para resistir às escavações na base da obra. A camada de enrocamento onde os caixões assentam directamente tem de ser bem regularizada, exigindo normalmente o trabalho de mergulhador.

e) *Quebra-vagas em estacas* — Estacas de madeira, aço ou betão, têm também sido usadas na construção de quebra-vagas, sobretudo em locais onde a ondulação não é muito forte.

f) *Quebra-vagas de armação de madeira* — Um outro tipo ainda de quebra-vagas é constituído por uma estrutura de madeira compartimentada e cujos compartimentos se enchem com pedra. O conjunto é colocado sobre uma fundação de enrocamento e existe, por vezes, uma superstrutura de betão (ver fig. 20).

as pedras, mas os resultados conseguidos nem sempre têm sido satisfatórios.

2.3.5 — *Escolha do tipo de quebra-vagas*

Os principais factores que afectam a escolha do tipo de quebra-vagas são: os esforços a que ele tem de resistir, as fundações, as disponibilidades de material, a duração que se pretende para a obra e o custo.

O principal esforço a que o quebra-vagas tem de resistir é o ataque das ondas. Este factor é de grande importância na escolha do tipo de estrutura a adoptar, porquanto, no caso de mares agrestes, são necessárias estruturas maciças e robustas, enquanto que em mares mais calmos qualquer tipo de estacaria pode ser suficiente.

Em casos particulares de quebra-vagas submersos e destinados a reter praias de areia, pode ainda haver necessidade de considerar o esforço devido à impulsão das areias acumuladas.

Os condicionamentos impostos pelas fundações podem constituir o factor decisivo na escolha do quebra-vagas. Por exemplo, se o fundo é erodível serão aconselhadas estruturas flexíveis, por exemplo enrocamentos a granel, e totalmente desaconselhados, como é óbvio, os caixões de betão armado.

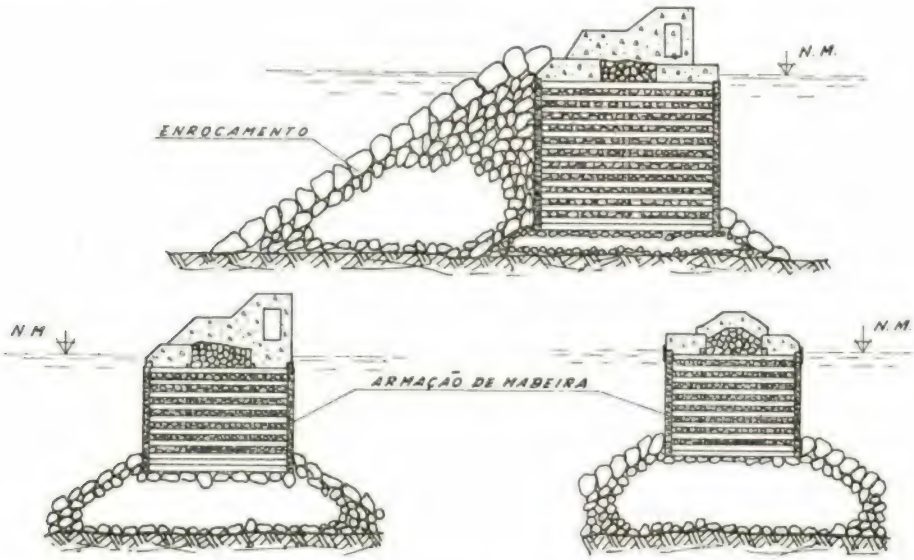


Fig. 20 — Quebra-vagas constituído por uma armação de madeira

g) *Materiais asfálticos* — O núcleo e a carapaça de alguns quebra-vagas são consolidados pela injecção de betão asfáltico nos interstícios entre

A disponibilidade de materiais de construção pode ser também um factor decisivo na escolha do tipo de quebra-vagas. De uma maneira geral

procura-se sempre empregar a pedra natural, mas pode acontecer que não existam, próximo do local, pedreiras capazes de fornecer o material desejado, em qualidade ou em quantidade. Nesta hipótese, terá de se recorrer a outros materiais (madeira, betão, aço), dependendo a escolha, entre outros factores, do custo da obra.

A duração que se pretende para a obra pode também ter influência na escolha do tipo de estrutura a adoptar. Por exemplo, não se deverá construir uma estrutura de madeira não tratada se se pretende que a obra tenha grande duração e, pelo contrário, não há necessidade de uma estrutura definitiva de pedra maciça se a necessidade de defesa costeira é apenas temporária.

Finalmente, a escolha da estrutura a adoptar depende do seu custo, sobre o qual influem todos os factores que acabámos de apontar. Na determinação do custo da obra deverá ter-se em conta não o custo inicial, mas também as despesas de conservação. Conforme a natureza de cada caso, poderá consentir-se um valor relativamente alto das despesas de conservação para assegurar uma substancial redução do custo inicial, ou acontecer precisamente o contrário, no caso, por exemplo, de não se ter permanentemente à disposição maquinaria apropriada para a conservação.

2.4 — *Paredões e revestimentos*

2.4.1 — *Definição*

Um paredão é uma estrutura paralela à costa e a ela aderente e cuja funcão é proteger a zona de terra da erosão provocada pelo ataque das ondas. Subsidiáriamente, o paredão funciona como muro de suporte das terras que pretende proteger.

Na linguagem técnica americana faz-se a distinção entre «sea-wall», «bulk-head» e «revetment». O primeiro tem como função principal resistir ao ataque das ondas, enquanto que o segundo funciona principalmente como muro de suporte de terras; o terceiro é um simples revestimento da costa, em geral ligeiro.

2.4.2 — *Funcionamento hidráulico. Tipo de paredões*

Os paredões são empregados quando o caminhamento litoral é nulo ou quase, e quando, portanto, os métodos de defesa que anteriormente mencionámos (esporão e quebra-vagas isolados) não podem ter eficiência de espécie alguma, ou ainda quando há necessidade imperiosa de não interferir com o transporte litoral.

Desta maneira, o paredão terá de resistir por si próprio ao ataque das vagas e resistir às erosões que possam continuar a verificar-se no seu pé.

De uma maneira geral, podemos classificar os paredões em verticais e de talude, ambos podendo ser permeáveis ou impermeáveis. Os paredões verticais, construídos por exemplo de blocos de betão ou de estacas pranchas metálicas podem ser utilizados como cais.

Os paredões de talude podem ser planos, em degraus, ou de face côncava, constituindo às vezes simples revestimentos.

2.4.3 — *Localização dos paredões e suas características*

Localização

Dado o seu elevado custo, e, dado que com eles não se pretende nem seria possível regenerar praias, os paredões só serão empregados quando houver que proteger zonas de terra, cuja importância justifique o dispêndio de quantias avultadas.

Normalmente, a localização de um paredão é determinada mais pelas necessidades locais do que por considerações de ataque do mar. Geralmente, o paredão é construído na linha para além da qual se não podem consentir erosões. Quando houver que ganhar terreno ao mar, como no caso de estradas ou avenidas marginais, é o traçado destas que, em última análise, determinará a posição do paredão.

Comprimento

Um paredão apenas protege a porção de terra que lhe fica imediamente atrás. Nestas condições, o comprimento da obra terá de abranger toda a zona que se pretende proteger.

Altura

Seria conveniente que a altura dos paredões fosse tal que se evitassem os galgamentos, não só por causa do ataque directo que eles podem provocar no pavimento (caso de estradas, etc.) como ainda pelos efeitos que podem provocar na estabilidade dos terrenos atrás do paredão.

No caso de paredes verticais ou côncovas, é costume tomar-se para cota do coroamento da estrutura o valor

$$h_c = h_t + 0{,}7\ H$$

onde

h_c — cota do coroamento do paredão
h_t — cota do preiamar de águas vivas na hipótese mais desfavorável (depressão atmosférica, etc.)
H — altura da anda.

Se o paramento do paredão é em talude, torna-se necessário elevar um pouco mais a cota do coroamento, sendo corrente tomar-se como ordem de grandeza

$$h_c = h_t + 1{,}3\ H$$

Requisitos a que deve obedecer um paredão

1.º — O paredão deve ser estável. No que diz respeito à estabilidade o paredão deve:

— resistir ao ataque das ondas
— funcionar como muro de suporte, resistindo à pressão das terras
— ter fundações adequadas às características do terreno e capazes de resistirem ao processo das erosões.

Para o cálculo da estabilidade dos paredões poderá consultar-se a bibliografia mencionada em (2).

2.º — Deverão ser evitados os galgamentos não só pelo efeito directo que podem ter sobre o pavimento, mas ainda porque podem erodir o material de enchimento situado atrás da estrutura, prejudicando assim a estabilidade desta.

Como já foi dito atrás, convém estudar convenientemente a cota do coroamento da obra.

O emprego de paramentos côncavos, taludes com bermas ou em degraus, e de uma maneira geral, paramentos rugosos e permeáveis, é favorável à diminuição dos galgamentos.

3.º — O paredão não deve contribuir para o aumento da erosão em frente da estrutura.

Uma parede impermeável, sobretudo se for muito inclinada ou vertical, quando colocada numa praia, pode ter um efeito destrutivo na mesma.

Na realidade, como é conhecido, o efeito do «clapotis» provocado pela reflexão das ondas pode originar erosões junto da base das obras. A colisão do jacto de retorno com a onda incidente também é muitas vezes a causa de importantes erosões.

Compreende-se assim que, no caso geral, será de aconselhar uma estrutura pouco reflectora, e tão permeável quanto possível. Esta recomendação pode, porém, estar em contradição com o ponto de vista estético que não aceita fàcilmente taludes de enrocamento a granel preferindo, pelo contrário, um perré regularizado (impermeável e reflector), ou exigindo frequentemente taludes verticais.

2.4.4 — *Limitações dos paredões*

a) Em geral o paredão é uma estrutura cara e o seu emprego terá de ser limitado às zonas cuja importância justifique o dispêndio de quantias avultadas.

b) O paredão só protege a zona de terra que lhe fica imediatamente atrás.

c) A possibilidade de galgamentos conduz a uma tendência para a erosão no tardoz da estrutura.

d) Existe ainda, em geral, uma tendência para a erosão em frente da obra devida às reflexões e, ao jacto de retorno.

Para remediar os inconvenientes mencionados em *c*) podem tomar-se as seguintes medidas: construção de um paredão suficientemente elevado; emprego de paramentos côncavos que inflectem o jacto para o lado do mar; protecção da área atrás do paredão por meio de uma camada impermeável, e, de uma maneira geral, o emprego de paramentos rugosos e permeáveis que, absorvendo energia, diminuem os galgamentos.

Os efeitos mencionados em *d*) são muito importantes e chegam a constituir por vezes perigo de desmoronamento da obra. As medidas normalmente tomadas consistem na construção de um tapete de enrocamento situado na base do paredão ou na colocação artificial de areia ou ainda em disposições que constituam uma almofada de água na base da estrutura.

No caso de haver grande tendência para a erosão junto à obra, temos que distinguir dois casos:

Se a obra é vertical, as suas fundações têm de ser suficientemente profundas, de tal modo que

a obra se conserve estável após a erosão, funcionando, afinal, como se fosse um cais.

Se a obra é de talude, convém que as ondas rebentem na camada protectora do próprio talude e nunca na base do mesmo, em virtude do perigo de desmoronamento da obra motivado pelas infraescavações. Neste caso ainda, o talude deve ser flexível e ao mesmo tempo rugoso e poroso de modo a absorver a energia da onda.

2.4.5 — *Tipos construtivos*

Como já dissemos, não existem diferenças fundamentais entre os três tipos de estruturas designadas, na linguagem técnica anglo-americana por «seawalls», «bulkheads» e «revetments». No entanto, e como norma geral, os paredões (seawalls), são estruturas mais maciças, em virtude de terem de resistir ao ataque das ondas, além de suportar o impulso das terras, enquanto que os muros de suporte (bulkheads) são projectados para desempenharem pràticamente apenas esta última função.

Apresentamos a seguir alguns perfis clássicos de paredões. O primeiro (fig. 21) é formado por

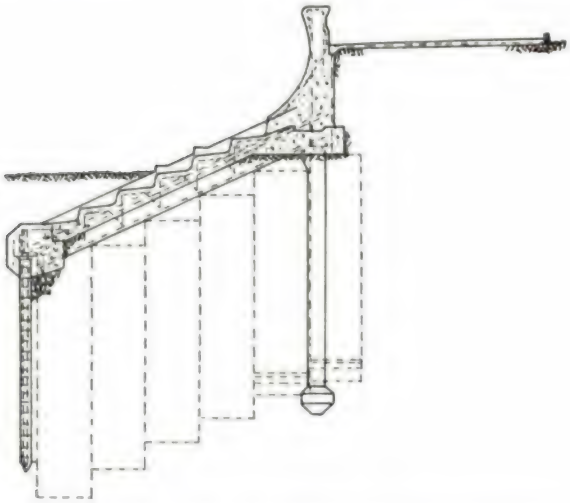


Fig. 21 — Paredão em degraus e remate côncavo

um paramento em degraus, rematado por um paramento côncavo e constitui uma estrutura robusta destinada a resistir ao ataque das ondas. O paramento em degraus destina-se a dissipar a energia incidente, enquanto que com o paramento curvo se pretende inflectir o jacto devido à rebentação, de modo a que a água não caia sobre o pavimento.

O segundo exemplo (fig. 22), que contém apenas um paramento em degraus, pode ser aconselhado para resistir a ondas menos violentas.

Um terceiro tipo são os paredões celulares conseguidos à custa de estacas, os quais podem ser utilizados mesmo em fundos rochosos.

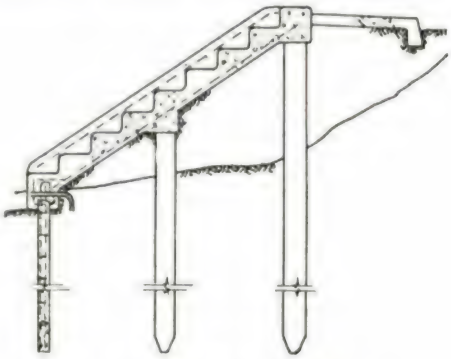


Fig. 22 — Paredão em degraus

Finalmente, apresenta-se uma estrutura de enrocamento, constituindo uma defesa longitudinal aderente, aconselhável no caso de se esperarem assentamentos do terreno (fig. 23).

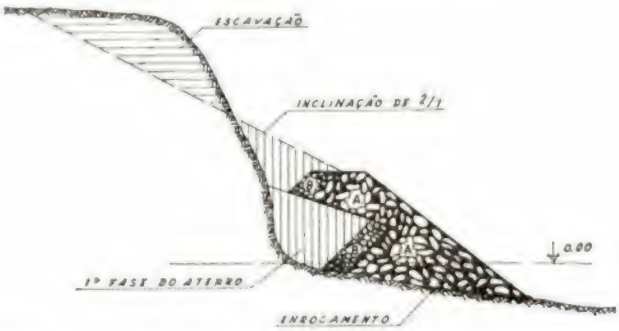


Fig. 23 — Defesa longitudinal aderente, de enrocamentos

Dos «bulkheads», que funcionam fundamentalmente como muros de suporte, apresentamos 3 exemplos: o primeiro de estacas de betão (fig. 24); o segundo de estacas pranchas metálicas e o terceiro construído de madeira (fig. 25 e 26).

Como «revestimentos» apresentamos dois exemplos, o primeiro construído de pedra e o segundo de betão (fig. 27 e 28).

Escolha do tipo de estrutura

Os principais factores que condicionam a escolha do tipo de paredão a adoptar são: natureza das fundações; exposição ao ataque das ondas; disponibilidade de materiais; custo.

CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, L.DA

PRAÇA DO MUNICÍPIO, 13-3.º — LISBOA

TELEFS. 36 65 06 (4 LINHAS)

Fundações • Construções civis e industriais

Betão armado e Betão prè-esforçado

Obras públicas

Concessionária do sistema de moldes deslizantes «**PROMETO**», para execução de silos, e do sistema «**BENOTO**», para execução de estacas de grande diâmetro

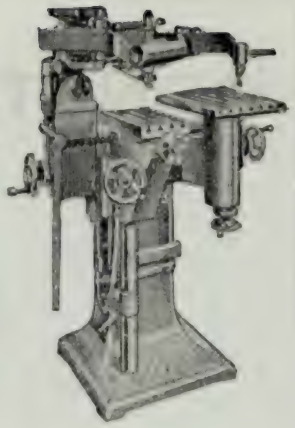
Viaduto de Sacavém na Auto-estrada do Norte

Pantógrafos «Alexander» tri-dimensionais

Máquinas de copiar, por meio de pantógrafo, tri-dimensionais, usadas em quase todos os ramos da indústria de engenharia, para a produção de formas de formato irregular, moldes e cunhos.

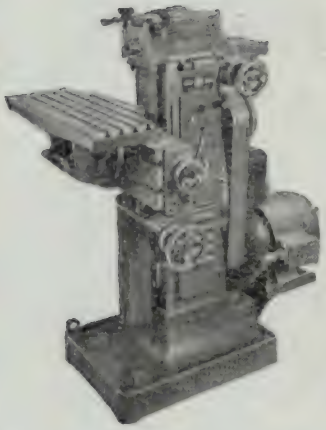
O pantógrafo, regulado òpticamente, assegura o máximo de perfeição e detalhe na reprodução.

A árvore, regulada dinâmicamente, reduz ao mínimo e, muitas vezes, elimina a necessidade de se terminar, manualmente, qualquer trabalho.



Fresadoras «Alexander» para a preparação de ferramentas

São máquinas destinadas à fresagem de todas as ferramentas — as máquinas ideais para longos periodos de produção. Equipadas com uma série de dispositivos de alta concepção, permitem efectuar, pràticamente, todas as operações necessárias para fabricação de ferramentas, calibradores, peças acessórias, instrumentos para medidas de precisão, moldes, buris e ferramentas para cunhagem.



Gravadoras «Alexander»

A gravura mostra uma das séries de máquinas gravadoras «Alexander» bi-dimensionais. O modo de trabalhar com estas máquinas é tão simples, que ate um operador inexperiente poderá conseguir com elas trabalho de alta qualidade, a grande velocidade.

Trabalhando a partir de moldes ampliados ou da mesa de copiar, poderão gravar-se letras e desenhos sobre muitos materiais.

Poderá também ser efectuada a perfilação de pequenas peças e a fabricação de cunhos, fresas e buris.

Utilizando guias de perfilação e dispositivos giratórios para gravar, poderá fazer-se também a gravação de letras e desenhos em superficies côncavas e convexas.

Distribuidores para Portugal

CRUZ & CRUZ, L.DA

Rua da Conceição, 21
PORTO — PORTUGAL

CIMA

COMPANHIA INDUSTRIAL DE MADEIRAS AFRICANAS, S.A.R.L.

contraplacados decorativos
contraplacados especiais
placas de revestimento
placas lameladas
folheados de fantasia
madeiras exóticas secas

FÁBRICA EM ALHANDRA (SAPAL) TEL. 05 02 02 • 05 02 03 • 05 02 66
SEDE EM LISBOA — R. DAS JANELAS VERDES, 3 — TEL. 66 01 76 (PABX) — TELEG. CIMAFRICA
DELEGAÇÃO EM AFRICA — CAIXA POSTAL 135 — CABINDA

SEMPRE CRIANDO DA MADEIRA MELHOR BELEZA

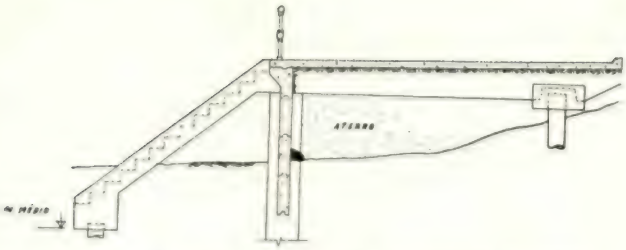


Fig. 24 — Paredão (bulkhead) de estacas de betão

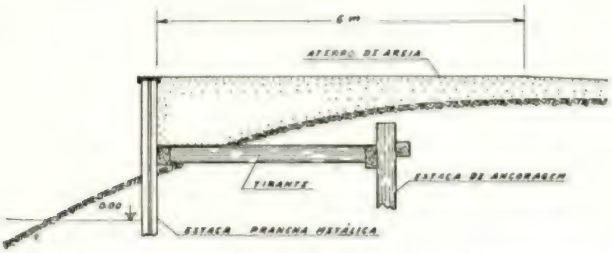


Fig. 25 — Paredão (bulkhead) de estacas pranchas metálicas

Fundações

Os condicionamentos impostos pelas fundações constituem um factor importante na escolha do tipo de estrutura a adoptar, e conduzem muitas vezes à adopção de uma obra mais cara do que seria para desejar, mas na qual as fundações sejam mais seguras.

No estudo das fundações de um paredão há dois aspectos a encarar: o primeiro é a natureza pròpriamente dita do terreno onde a obra vai ser fundada (rocha, areia, etc.); o segundo é a possibilidade de escavações na base da obra depois da construção desta. Este último aspecto reveste-se de grande importância e as precauções a tomar já foram anteriormente indicadas.

Ataque das ondas

Visto que os paredões têm de resistir ao ataque das ondas, é evidente que num local de forte ondulação terão de ser usados tipos robustos de obra, não sendo aconselhadas estruturas ligeiras como sejam as de madeira, ou os simples revestimentos de enrocamento que ficarão reservados para os locais de fraca agitação.

Disponibilidades dos materiais

A facilidade em encontrar os materiais destinados à obra pode ser também um factor decisivo na escolha do tipo de estrutura a adoptar.

Custo

Finalmente, a decisão sobre o tipo de obra a construir é fortemente condicionada pelo custo, mas nunca se deverá perder de vista que as obras de defesa costeira são necessàriamente dispendiosas e nunca poderão deixar de ter a robustez necessária para resistirem aos esforços naturais, sem o que todo o dinheiro gasto pode resultar em inutilidade.

Na determinação do custo da obra há que ter em conta não só o custo de primeiro estabelecimento, como as despesas anuais de conservação.

2.5 — ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL DE PRAIAS

Como vimos atrás, a regeneração de uma praia pela acumulação das areias que constituem o transporte litoral, ocasiona erosões nas zonas situadas a sotamar, em virtude da falta de alimentação nessas zonas.

Na realidade, tudo o que seja pôr obstáculos ao livre caminhamento das areias, ocasiona necessàriamente uma rotura de equilíbrio que terá as suas consequências funestas nas zonas de jusante.

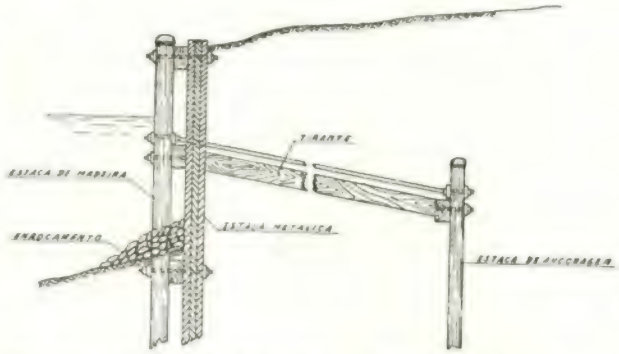


Fig. 26 — Paredão (bulkhead) de estacas de madeira

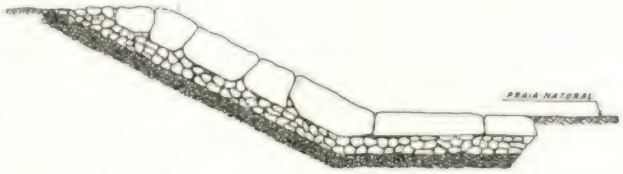


Fig. 27 — Revestimento de pedra

Para obviar a este inconveniente, nasceu a a ideia da alimentação artificial de praias que tem sido aplicada principalmente na América.

Os tipos de alimentação artificial de praias que têm sido usados são quatro:

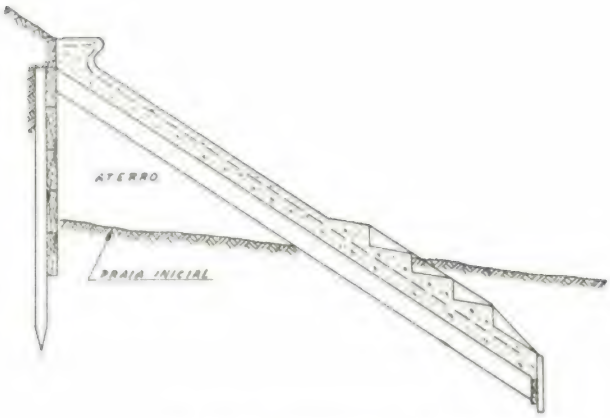


Fig. 28 — Revestimento de betão

a) O primeiro consiste em lançar areia por meio de batelões, em frente da zona que se pretende proteger e em profundidades de cerca de 4 ou 5 m, e esperar que os agentes naturais façam a distribuição daquela areia.

Os resultados colhidos por este método não têm, porém, sido satisfatórios.

b) O segundo método é aplicado quando o problema da erosão é provocado pela construção de molhes ou outras obras salientes. Nestas condições, deixa-se acumular material na zona de barlamar e, temporàriamente, draga-se o material acumulado que se lança na zona atacada. As dragas utilizadas são em geral do tipo sucção com pipeline.

c) O método mais eficiente de alimentação artificial de praias é ainda o método da bombagem, pràticamente contínua, por meio de instalações fixas. Com este método consegue-se uma interferência mínima no caminhamento natural das areias, evitando se assim o prejuízo de determinadas zonas. O método tem sido usado com eficiência, por exemplo, em South Lake Worth Inlet (Florida, U. S. A.) (5).

d) Um último método consiste na colocação directa da areia sobre toda a zona a proteger. Um tal método poderá ter interesse quando se deseje restaurar imediatamente uma praia cujo estado de erosão se encontra demasiado adiantado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 — Vera-Cruz, D. — «Transporte sólido em costas arenosas — Técnicas utilizadas no seu estudo; emprego de radioisótopos e de luminescentes» — Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Novembro de 1958.

2 — «Shore protection, planning and design» — Beach Erosion Board, Corps of Engineers — Technical Report N.º 4.

3 — Pelnard-Considére: «Essai de théorie de l'évolution des formes de rivage en plages de sable et de galets» — Compte rendu des Quatrièmes Journées de l'Hydraulique — Paris 1956.

4 — Irribaren: «Corrientes y oscilaciones de ressaca» — Revista de Obras Públicas.

5 — «A study of sand movement at South Lake Worth Inlet — Florida» — Beach Erosion Board — Tech. Memorandum n.º 42.

MÉTODOS EMPREGADOS NA DEFESA CONTRA A EROSÃO COSTEIRA

SUMÁRIO

Descrevem-se neste artigo os principais métodos usados na defesa contra a erosão costeira: esporões, quebra-vagas isolados, paredões, revestimentos e alimentação artificial de praias. Referem-se as principais características das obras de protecção, o seu funcionamento hidráulico, os tipos construtivos mais correntes e as limitações no seu emprego.

PROTECTION AGAINST COASTAL EROSION

SUMMARY

The principal methods used in the protection against coastal erosion as described in this article: groins, detached breakwaters, sea walls, revetments and artificial feeding of beaches.

Also are referred the principal characteristics of protection works, their hydraulic behaviour, the most usual construction types and the limitations as to their use.

Tudor

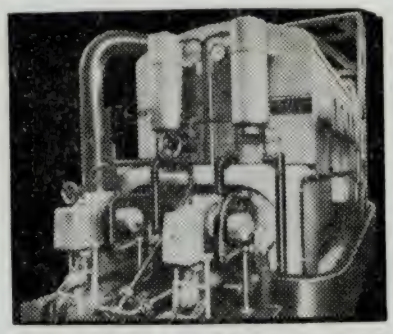
PORTUGAL

A MELHOR

BATERIA

FLUIDOTERMUS

Aquecedores-acumuladores industriais



A disposição da indústria nacional

Processo patenteado francês de aquecimento por fluido especial transmissor de energia térmica

- Temperatura até 300° C
- Não têm pressão (Não sujeitos a prova)
- Não têm incrustações nem oxidações
- Não têm purgadores
- Não têm panes nem periodos de paragem.

Com um pequeno permutador a mesma instalação pode produzir vapor

6 unidades para uma produção de 6.000.000 k cal h. foram já encomendadas pela indústria petrolifera para Portugal.
Fabricação inteiramente nacional

VASCO PESSOA, LDA.

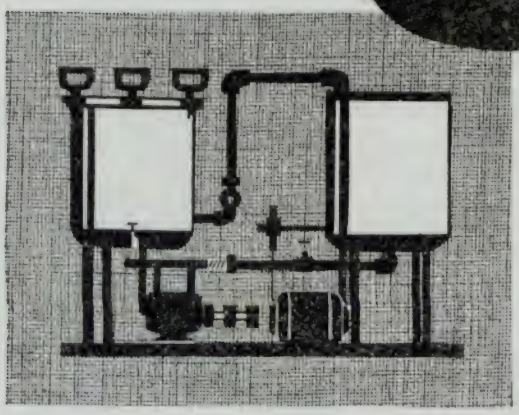
Rua da Boa Vista, 63 — LISBOA

filtros FILFRO, L.da

ALGUMAS DAS PRINCIPAIS APLICAÇÕES:

Água • Açúcar • Óleos vegetais, animais e minerais • Cerveja
Sabão líquido • Resinas naturais e sintéticas • Vinhos • Vinagre
Glicerina • Tintas • Vernizes
Sumos de frutos • Xaropes
Azeite • Industria quimica

FILTROS NACIONAIS PARA TODOS OS PROBLEMAS DE FILTRAÇÃO



Inteiramente fabricados em Portugal, por técnicos e operários portugueses, segundo a patente port. n.º 29.917

Dezenas de instalações a funcionar no país atestam a sua excelente qualidade.

RUA CAPITÃO FILIPE DE SOUSA, 128
CALDAS DA RAINHA

FILTROS FILFRO, L.da PORTUGAL

C. D. U. 699.841 : 550.34 (042)

CONSIDERAÇÕES ACERCA DO COEFICIENTE SÍSMICO*

POR FREDERICO MACHADO

Eng.º da Direcção Geral de Obras Públicas e Comunicações, Ministério do Ultramar

I

O cálculo das construções para resistirem aos abalos de terra faz-se correntemente assimilando a acção dum abalo a uma carga estática horizontal. Esta carga determina-se multiplicando o peso de cada parte da construção por um factor designado por *coeficiente sísmico*.

No Regulamento Português de 1958, para o cálculo dos edifícios em conjunto, são fixados coeficientes sísmicos de 0,10 e 0,05, respectivamente para as zonas A e B que são definidas em função da correspondente sismicidade. Para estruturas especiais e para certas partes da construção, os coeficientes estabelecidos são duplos ou triplos dos indicados.

Estes coeficientes sísmicos têm carácter experimental. Com efeito, no Japão e na Califórnia tem-se verificado que os edifícios, calculados com coeficientes semelhantes, resistem razoàvelmente aos abalos de terra.

Apesar disso, várias vezes foi posta em dúvida a legitimidade de identificar com forças estáticas as solicitações devidas aos sismos que são fenómenos essencialmente dinâmicos (Engle, 1953; veja-se também Cardoso, 1950-51).

Vamos aqui discutir novamente as relações entre as deslocações da crusta, durante um abalo de terra, e os esforços correspondentes desenvolvidos numa estrutura.

II

Um sismo é produzido pela propagação de ondas elásticas na crusta terrestre. A existência destas ondas é um facto bem estabelecido, mas a origem da energia elástica, radiada por este processo, constitui ainda motivo de especulação.

As Ciências Geológicas reconheceram há já muito tempo que existem na crusta esforços consideráveis, dos quais resultam as fracturas e enrugamentos das camadas da superfície da Terra.

A fracturação é geralmente acompanhada de movimento relativo dos blocos adjacentes. As fracturas neste caso designam-se por *falhas* (veja-se por exemplo Scheidegger, 1956) e distinguem-se três tipos:

— falhas normais,
— falhas inversas, e
— falhas transcorrentes.

Nos dois primeiros tipos o movimento relativo dos bordos tem uma componente vertical. As falhas normais correspondem à compressão vertical ou tracção horizontal da crusta, ao passo que as falhas inversas são produzidas por compressão horizontal (conforme está indicado nas Fig. 1 a e 1 b).

Nas falhas transcorrentes o movimento relativo é apenas horizontal (Fig. 1 c). Podem corresponder indiferentemente a esforço de tracção ou de compressão.

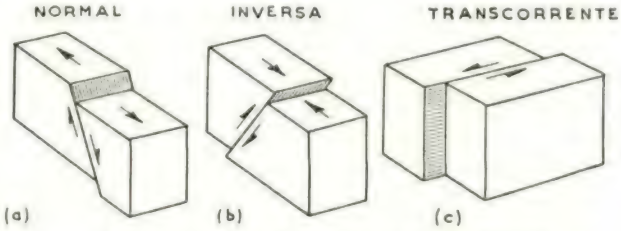


Fig. 1 — Tipos de falhas da crusta terrestre

* * *

Na Califórnia os terramotos mais violentos são acompanhados de deslisamento numa falha transcorrente: — a célebre «San Andreas Fault».

* Conferência proferida na Reunião sobre Construção Anti-Sísmica que teve lugar no Laboratório Nacional de Engenharia Civil em 27 e 28 de Fevereiro de 1961.

Os sismologistas americanos (veja-se Byerly, 1942, pág. 20 e seg.) atribuem as vibrações sísmicas à radiação de energia elástica durante estes deslisamentos.

Haveria nos dois blocos contíguos uma tensão acumulada que se libertaria quando se dá o escorregamento. Isto implica a existência duma certa compressão perpendicular ao plano da falha, pois só assim é que o atrito pode impedir, durante o intervalo entre terramotos, a libertação contínua da energia elástica.

Noutras regiões, o mecanismo dos abalos de terra é provàvelmente diferente. Nos Açores, por exemplo (Machado, 1959 b), parece haver afundimento de blocos limitados por falhas inversas (Fig. 2). O esquema explica a existência de vales tectónicos ou «rifts», e de câmaras magmáticas capazes de alimentar a actividade vulcânica da região.

Aqui as ondas sísmicas poderiam ser geradas de duas formas distintas. Ao escorregamento das falhas inferiores corresponderiam abalos semelhantes aos descritos para a Califórnia. Uma outra origem de abalos, talvez característica das regiões vulcânicas, parece resultar da encurvadura e correspondente fracturação do tecto das câmaras magmáticas (Fig. 2b).

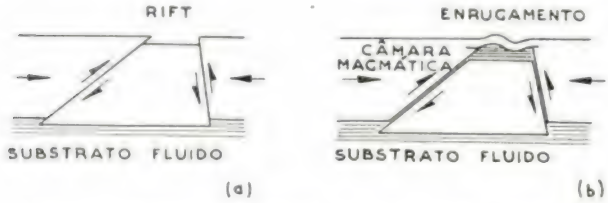


Fig. 2 — Estrutura provável da crusta nos Açores

A formação das montanhas por enrugamento pode corresponder também a um mecanismo que não diferiria substancialmente do indicado na Figura 2b. A maior diferença residiria porventura na natureza do magma que seria geralmente basáltico nas regiões vulcânicas, e granítico debaixo dos sistemas de montanhas.

* * *

Nas regiões em que os sismos são atribuídos a fenómenos tectónicos, o foco donde irradiam as ondas situa-se em regra a profundidades superiores aos 10 km. Os abalos mais intensos dessas regiões costumam ser bem individualizados, embora uma vez por outra sejam precedidos ou seguidos de sismos menores que são chamados, respectivamente, abalos prèmonitórios ou réplicas.

Na proximidade dos vulcões, especialmente nas épocas de actividade são frequentes, pelo contrário, extensas séries de abalos mais ou menos intensos, com focos à profundidade de 1 ou 2 km apenas. Estes sismos, ainda mesmo quando são destruidores, afectam áreas muito restritas, quase sempre na imediata vizinhança das chaminés activas.

Contudo, nestas últimas regiões, também ocorrem abalos de certa violência com focos a maior profundidade (da ordem dos 20 ou 25 km).

Parecia então sugestivo classificar ali como *vulcânicos* os abalos com foco situado acima das câmaras magmáticas, e como *tectónicos* os que têm os focos na região inferior da crusta, abaixo daquelas câmaras. A investigação destes assuntos encontra-se, porém, numa fase «juvenil» que não permite, por enquanto, conclusões definitivas.

III

Os sismos manifestam-se por uma vibração do solo, a que corresponde uma aceleração variável. A intensidade pode definir-se pelo valor máximo desta aceleração; é, porém, mais fácil avaliar a intensidade pelos efeitos dos abalos sobre as pessoas e sobre as construções, de acordo com escalas convencionais.

A intensidade, referida à escala Mercalli—1931, está relacionada com a aceleração pela fórmula empírica, devida a Gutenberg e Richter (1956),

$$\log_{10} \gamma = I/3 - 0{,}5 \,, \tag{1}$$

sendo

γ = aceleração máxima em cm/seg^2,
I = intensidade em graus Mercalli.

É vantajoso exprimir a aceleração máxima como fracção da aceleração da gravidade, a que podemos atribuir o valor aproximado $g = 10^3$ cm/seg^2. A fórmula anterior tranforma-se então em

$$\log_{10} (\gamma/g) = I/3 - 3{,}5 \,. \tag{2}$$

À relação $\gamma/g = 0{,}1$ corresponde portanto a intensidade 7 1/2; e a $\gamma/g = 0{,}2$ corresponde, por sua vez, uma intensidade de cerca de 8 1/2.

Admitiu-se antigamente que a vibração sísmica era sinusoidal, da forma

$$x = A \operatorname{sen} 2\pi \frac{t}{T} \tag{3}$$

onde

x = deslocação dum ponto do solo,

A = amplitude,

t = tempo,

T = período.

Nesta hipótese, a aceleração seria

$$\ddot{x} = -\frac{4\pi^2 A}{T^2} \operatorname{sen} 2\pi \frac{t}{T} \tag{4}$$

e a aceleração máxima,

$$\gamma = \frac{4\pi^2 A}{T^2} . \tag{5}$$

Investigações recentes (Housner, 1955) têm mostrado porém que a vibração sísmica não pode considerar-se sinusoidal, pelo menos na proximidade do epicentro, isto é, justamente na zona das maiores destruições quando o abalo é violento.

Housner admite que o fenómeno corresponde antes à radiação de impulsos sucessivos cuja amplitude e «período» têm uma distribuição aleatória. Não há portanto um período predominante; a vibração que resulta parece equivalente à sobreposição de todas as frequências dum certo intervalo, correspondendo assim a um fenómeno do tipo do «ruído branco» (cf. Ferry Borges, 1956).

IV

Os abalos de terra ocorrem em cada região segundo um certo «hábito» que se designa por sismicidade da região. Assim em Portugal consideram-se três zonas: uma onde são frequentes os terramotos destruidores (zona A), outra onde as intensidades não costumam exceder o grau 8 (zona B), e uma terceira onde os abalos têm intensidade inferior a 6 (zona C).

Em muitas regiões a sismicidade tem um carácter periódico. As épocas de ocorrência de abalos estão por vezes correlacionadas com as marés da crusta terrestre, o que é fàcilmente compreensível. Menos clara é porém a correlação (que se verifica por exemplo nos Açores) entre as manchas solares e as crises sísmicas (Machado, 1955). As manchas solares parecem produzir radiações cósmicas que influem no equilíbrio electròmagnético da alta atmosfera; ainda não foi porém possível compreender a ligação destes fenómenos com o equilíbrio elástico da crusta, do qual depende, como vimos, a ocorrência de sismos.

Este aspecto da questão interessa especialmente à Física do Interior da Terra. Se falámos aqui nele foi ùnicamente porque a vida prevista para uma estrutura pode não ser abrangida pelas épocas em que se considera provável a ocorrência dos sismos de maior intensidade. Neste caso o cálculo anti-sísmico poderia ser feito para solicitações reduzidas, com evidente vantagem económica.

V

Vamos agora investigar o comportamento de uma estrutura idealmente simples, encastrada num solo sujeito a vibrações sísmicas. Suponhamos que o sistema da Figura 3 tem um só grau de liberdade.

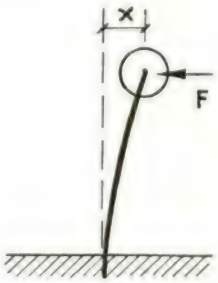


Fig. 3 — Sistema ideal com um grau de liberdade

A recuperação elástica é equivalente a uma força F proporcional à flecha máxima x; e se não houver amortecimento a equação do movimento, na ausência de vibração do solo, será

$$m\ddot{x} + F = 0 \quad \text{ou} \quad \ddot{x} + n^2 x = 0 . \tag{6}$$

Aqui m é a massa da estrutura, n^2 é um coeficiente de proporcionalidade, e $\ddot{x}$ representa a segunda derivada em ordem ao tempo.

A solução é, como se sabe, da forma

$$x = c_1 \cos nt + c_2 \operatorname{sen} nt . \tag{7}$$

sendo os cc constantes arbitrárias e t o tempo.

Esta solução é harmónica; e, se for T o período próprio, teremos

$$(8) \qquad nT = 2\pi \qquad \text{donde} \qquad n = 2\pi/T \ .$$

Suponhamos agora que o solo fica sujeito a uma aceleração variável $a(t)$. A equação (6) transformar-se-á na seguinte:

$$(9) \qquad \ddot{x} + n^2 x = -a(t) \ .$$

A solução obtém-se pelo método de variação das constantes.

Consideremos uma solução da forma (7) onde porém c_1 e c_2 são agora funções de t sujeitas à condição

$$(10) \qquad \dot{c}_1 \cos nt + \dot{c}_2 \operatorname{sen} nt = 0 \ .$$

Substituindo a expressão (7) na equação (9), obtemos

$$(11) \qquad \dot{c}_1 \operatorname{sen} nt - \dot{c}_2 \cos nt = \frac{a(t)}{n} \ .$$

e o sistema das equações (10) e (11) permite determinar $\dot{c}_1$ e $\dot{c}_2$ e por integração subsequente c_1 e c_2.

Se para $t = 0$ o sistema estiver em repouso, a solução final será

$$(12) \qquad x = -\frac{1}{n}\int_0^t a(\tau) \operatorname{sen} n(t-\tau)\, d\tau \ .$$

* * *

Vamos passar a considerar o caso de haver um amortecimento que supomos proporcional à velocidade $\dot{x}$.

A equação do movimento, correspondente a (9), será agora

$$(13) \qquad \ddot{x} + 2kn\dot{x} + n^2 x = -a(t)$$

cuja solução, obtida por um método absolutamente análogo ao exposto, é

$$(14) \qquad x = -\frac{1}{n_1}\int_0^t a(\tau)\, e^{-kn(t-\tau)} \operatorname{sen} n_1(t-\tau)\, d\tau \ ,$$

com $n_1 = n\sqrt{1-k^2}$.

Esta solução só é harmónica se for $k < 1$; o valor $k = 1$ corresponde ao chamado amortecimento *crítico*.

Nas estruturas habituais k tem valores pequenos, da ordem dos 7 % (Alford & Housner, 1953). Mesmo assim as solicitações produzidas numa estrutura são geralmente pequenas, excepto se houver *ressonância*.

Este fenómeno aparece, como se sabe, quando a oscilação do solo for harmónica, e de período coincidente com o período próprio da estrutura.

A ressonância corresponde portanto ao valor da aceleração do solo

$$(15) \qquad a(t) = \gamma \operatorname{sen} nt \ .$$

Substituindo este valor em (14) e derivando duas vezes obtemos, depois dum cálculo um tanto laborioso,

$$(16) \qquad \ddot{x} = -\frac{\gamma}{2}\left(\frac{\cos nt - e^{-knt}\cos n_1 t}{k} + \frac{e^{-knt}\operatorname{sen} n_1 t}{\sqrt{1-k^2}}\right)$$

onde, como anteriormente,

$$n = \frac{2\pi}{T} \ \text{e} \ n_1 = \frac{2\pi}{T}\sqrt{1-k^2} \ .$$

Esta expressão permitiu calcular os valores de $\ddot{x}/\gamma$ em função de t/T.

Os resultados obtidos estão representados na Figura 4, para amortecimentos correspondentes a $k = 0$, $k = 0{,}05$ e $k = 0{,}10$.

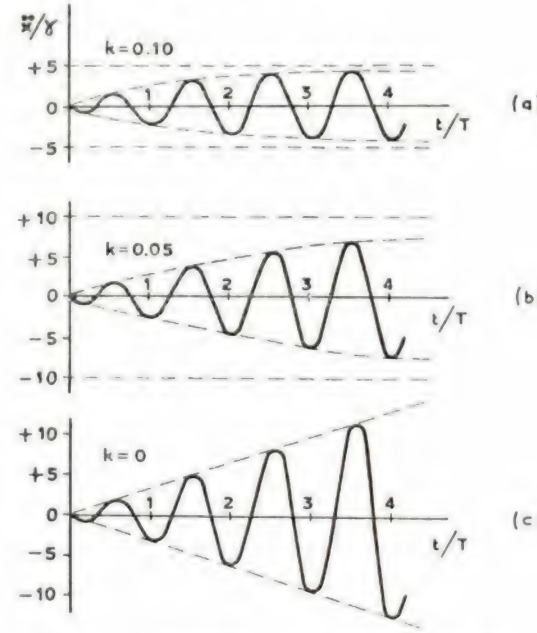


Fig. 4 — Acelerações duma estrutura simples, devidas a vibração do solo

Vemos que, em caso de ressonância, a aceleração do solo é amplificada na estrutura. Se não

houvesse amortecimento, $\ddot{x}$ cresceria indefinidamente (Fig. 4 c); e, mesmo com os amortecimentos considerados, no fim de duas ondas a aceleração na estrutura seria já cerca de 4 ou 5 vezes maior que a aceleração do solo. A amplitude de $\ddot{x}/\gamma$ tende para os limites 5 e 10, respectivamente para amortecimentos de 10 e 5 % do valor crítico (Fig. 4 a e 4 b).

VI

Vemos que tem muito interesse verificar as condições de ressonância das estruturas sob a acção de abalos de terra.

O período próprio dos edifícios correntes pode avaliar-se pela fórmula empírica (veja-se por exemplo Ferry Borges, 1955)

$$T = 0{,}087\, h/\sqrt{b}\ , \tag{17}$$

sendo h a altura em metros, e b a largura segundo o plano de vibração, expressa também em metros.

Para $b = 8$ m, esta fórmula dá aproximadamente 0,1 seg. por cada andar de 3 m de altura. Os edifícios de 4 e 5 andares têm portanto períodos de 0,4 a 0,5 seg.

Por outro lado, o espectro dos registos sísmicos (Housner & al., 1953), embora sem evidenciar um período dominante, mostra contudo que as maiores acelerações correspondem a períodos compreendidos entre 0,2 e 1,0 seg.

Parece então que devem ser frequentes os fenómenos de ressonância nos edifícios de 4 e 5 andares, tão abundantes nas grandes cidades.

* * *

Dissemos que o coeficiente sísmico é o factor pelo qual se multiplica o peso da construção para se obter a solicitação horizontal que intervém no cálculo. Em consequência da proporcionalidade entre as forças e as acelerações, isto equivale a definir aquele coeficiente como a relação entre a aceleração horizontal e a aceleração da gravidade.

Os edifícios são portanto calculados para acelerações horizontais da ordem de 0,1 g (ou menos).

Desta forma, para uma amplificação por ressonância da ordem de 4 a 5, a aceleração do solo seria quando muito 0,025 g que corresponde, pela fórmula (2), a um sismo de intensidade 5 a 6 (admitindo que a amplitude «média» da frequência ressonante é da ordem de grandeza da aceleração dada por aquela fórmula). Por outro lado, os regulamentos anti-sísmicos permitem aumentos substanciais da carga de segurança que se aproxima, desta forma, da carga de rotura.

Então parecia de esperar que muitos edifícios, calculados para resistirem a abalos de terra, ficariam arruinados com fenómenos sísmicos de intensidade inferior a 6, os quais são considerados, por definição, como pouco destruidores.

O facto seria, de certo modo, paradoxal. Mas nada disto se verifica na prática: conforme dissemos, os edifícios calculados pelos regulamentos actuais resistem razoàvelmente a intensidades destruidoras (correspondentes aos graus 7 a 9).

* * *

Somos assim conduzidos à seguinte conclusão:
— ou a vibração do solo não contém a frequência própria dos edifícios, com duração superior a cerca de meio período, ou então o comportamento dos materiais não satisfaz à Teoria da Elasticidade.

Conforme dissemos, as vibrações sísmicas contêm geralmente todas as frequências do intervalo 0,2 a 1,0 seg, incluindo portanto a frequência própria dos edifícios correntes. Resta-nos então a segunda hipótese; Housner (1956) atribui, com efeito, a fenómenos de plasticidade aquele aumento aparente de resistência.

É claro que o escoamento plástico vai impedir o estabelecimento de tensões superiores ao limite de cedência, e vamos mostrar que o fenómeno se pode assimilar a um acréscimo do factor de amortecimento.

No fim dum certo número de oscilações a expressão (16) (ou a aceleração da recuperação elástica que lhe é sensìvelmente equivalente) aproxima-se do valor

$$\ddot{x} = -\frac{\gamma}{2k}\cos nt\ . \tag{18}$$

Quando for atingido o limite de cedência, a vibração deixa de ser rigorosamente sinusoidal. Podemos contudo admitir que a aceleração continui a ser representada aproximadamente pela fórmula (18). Se for γ_c a aceleração correspondente ao limite de cedência, teremos então

$$\gamma_c = \gamma/2k\ . \tag{19}$$

Enquanto o movimento for harmónico ($k < 1$), haverá deformações plásticas nos dois sentidos, sendo de esperar uma certa compensação. Quando for excedido o amortecimento crítico, isto é, quando for $k > 1$, o sistema torna-se aperiódico; a assimetria das deformações pode fazer então aumentar perigosamente a deslocação num dado sentido e produzir eventualmente o colapso da estrutura. Parece portanto que deverá ser

$$k = \gamma / 2\gamma_c < 1 \quad \text{ou} \quad \gamma_c > \gamma/2 \ . \tag{20}$$

Quer dizer que não haveria ruína desde que a estrutura só atingisse o estado de cedência

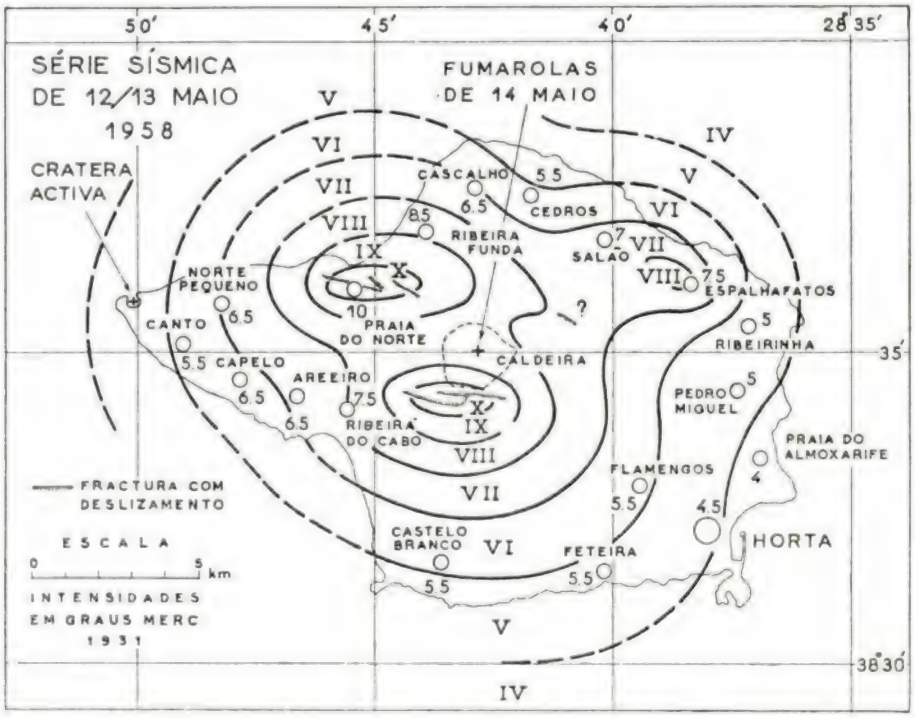


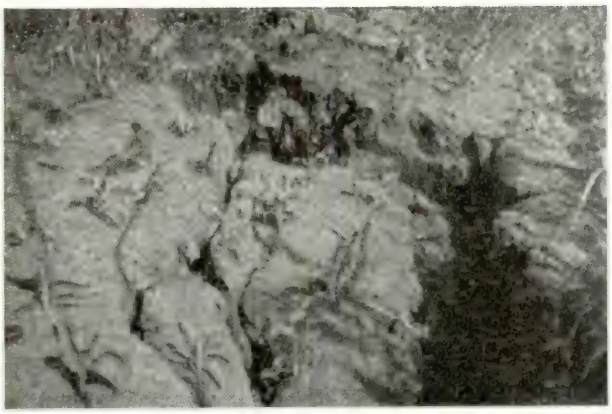
Fig. 5 — Isossistas resultantes dos 400 abalos de Maio de 1958.

ESTAMPAS

1 — Ruínas de edifícios na Praia do Norte, causadas pelos terramotos de 1958.

2 — Outro aspecto das ruínas. Note-se a boa qualidade da pedra.

3 — Ainda as ruínas da Praia do Norte. As divisórias de madeira suportam sòzinhas a cobertura.

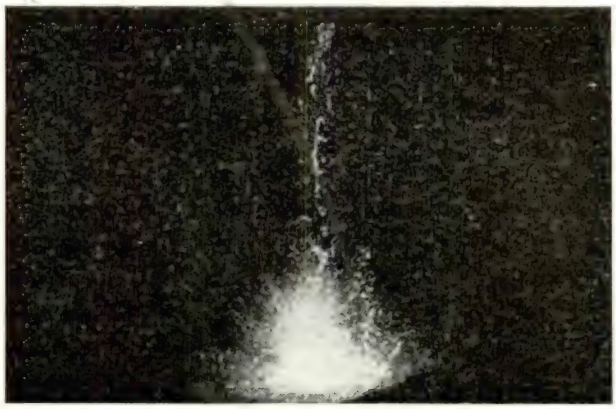


4 — Falha com desnível de cerca de 50 cm num terreno de cultura.

5 — As fumarolas que surgiram na Caldeira do Faial.

6 — Actividade do vulcão dos Capelinhos (tipo vulcaniano-submarino) antes da crise sísmica.

7 — Actividade vulcânica de tipo estromboliano, depois da crise sísmica.



8 — A mesma actividade vista de noite.

com acelerações superiores a cerca de metade da aceleração máxima do solo.

A não destruição dependeria assim do aparecimento de rótulas plásticas, nas quais fosse possível a necessária deformação por cedência sem se atingir a ruína total (cf. por exemplo Hodge, 1959, pág. 19). Esta nova maneira de encarar o problema representa uma ligeira limitação ao dimensionamento habitual baseado na simples acção duma carga estática. O Regulamento Português estabelece contudo algumas disposições construtivas que devem tornar possíveis, em muitos casos, as deformações por cedência aqui referidas.

Parece então que teremos de verificar a resistência duma estrutura para um esforço lateral igual a metade da aceleração máxima do solo (mas assegurando simultâneamente a possibilidade dum certo escoamento plástico).

O cálculo anti-sísmico usando coeficientes de 0,05 e 0,10 permitiria portanto resistir a abalos com acelerações máximas de 0,1 g e 0,2 g, ou seja, abalos com intensidades da ordem de 7 1/2 e 8 1/2, respectivamente.

Isto corresponde razoàvelmente ao que se verifica na prática.

* * *

O que temos dito é respeitante a sistemas com um só grau de liberdade. Nos edifícios haverá em geral vários «modos» de vibração, mas numa primeira aproximação podemos talvez considerar apenas o que for predominante.

VII

Para terminar, vamos ver sumàriamente o efeito das cargas repetidas.

Timoshenko (1941, pág. 430) assinala diminuições consideráveis no valor da carga de rotura de veios submetidos a cargas alternadas, mas só quando estas se repetem alguns milhões de vezes.

Num sismo destruidor o número de impulsos é da ordem dos 20 ou 30 (Gutenberg & Richter, 1956), e nas crises mais violentas raramente o número de abalos destruidores atinge a centena.

Desta forma a repetição de carga numa crise sísmica é da ordem dos milhares, e não dos milhões. A repetição não deve por isso agravar muito o efeito correspondente a um único impulso com a mesma aceleração máxima (com o acréscimo que porventura corresponda ao efeito dinâmico de ressonância).

* * *

Conforme já dissemos, as longas séries de abalos de terra são especialmente notáveis nas regiões vulcânicas.

Relacionadas com a última erupção dos Açores, houve duas importantes crises sísmicas. A primeira com cerca de 200 abalos ocorreu em Setembro de 1957, nos dias que precederam o início das explosões vulcânicas junto à costa da Ilha do Faial. A intensidade máxima dos abalos não excedeu o grau 5, não havendo portanto destruições.

A outra crise ocorreu em Maio e Junho de 1958 e compreendeu mais de 500 abalos, muitos dos quais com a intensidade 10 (cf. Machado, 1959a). Durante uma única noite foram registados no sismógrafo da Horta cerca de 400 sismos, alguns apenas com intervalos de meio minuto.

Os epicentros concentraram-se em três pontos distintos da ilha.

Uma destas zonas epicentrais localizou-se na povoação da Praia do Norte. Ali os edifícios não obedeciam a regras de construção anti-sísmica, mas em compensação tinham apenas um ou dois pisos e as paredes eram de boa alvenaria de fiada.

Todos estes edifícios ficaram inabitáveis e muitos ruiram até aos alicerces. Felizmente, não se registaram vítimas porque a intensidade dos abalos foi aumentando progressivamente, permitindo às pessoas abandonarem a tempo as habitações.

No centro da povoação apareceram fracturas no solo, com desnivelamento dos bordos até cerca de um metro. Tratava-se portanto de pequenas «falhas», no sentido em que o termo é usado na Geologia.

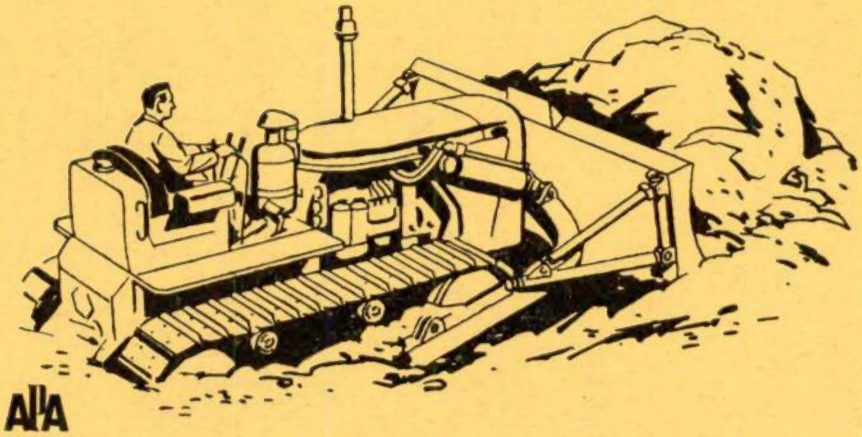
A partir destas falhas a intensidade diminuía ràpidamente (em todos os sentidos), o que é indício de pequena profundidade de foco. O valor então estimado foi de cerca de 1 km apenas.

Nas outras duas zonas epicentrais os fenómenos foram menos dramáticos: numa porque os abalos foram menos intensos, e na outra por se tratar duma área desabitada.

Em ligação com esta crise sísmica, surgiram algumas fumarolas no fundo da antiga «caldeira» existente no centro da Ilha do Faial. Simultânea-

CATERPILLAR*

TRACTORES DE RASTO E DE RODAS • PÁS MECÂNICAS (TRAXCAVATORS*) DE RASTO E DE RODAS • ESCARIFICADORES • BULLDOZERS SCRAPERS • MOTONIVELADORAS



MOTORES INDUSTRIAIS
GRUPOS ELECTROGÉNEOS
MOTORES MARÍTIMOS
ASSISTÊNCIA
PEÇAS SOBRESSALENTES
REPARAÇÕES

REPRESENTANTES EXCLUSIVOS EM
PORTUGAL, ILHAS ADJACENTES, CABO VERDE E GUINÉ

STET

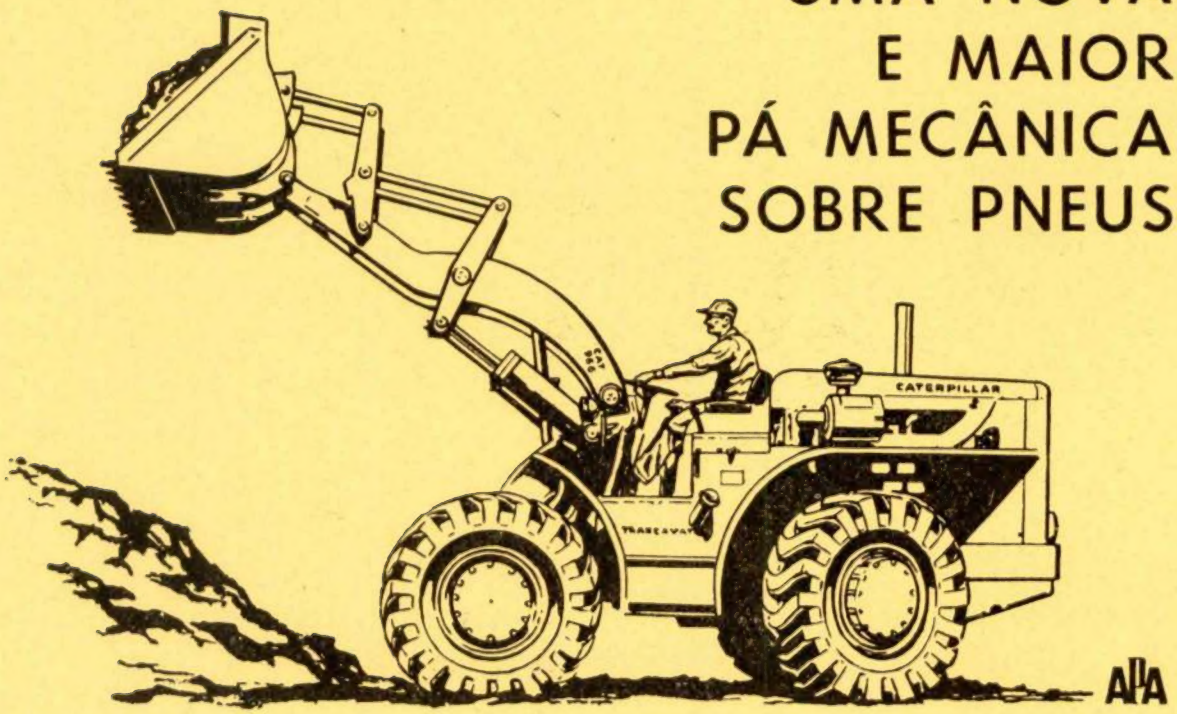
SOCIEDADE TECNICA DE EQUIPAMENTOS E TRACTORES, LDA.

SEDE PROVISÓRIA: AV. DE MADRID, 3-B – LISBOA 1
TELEFS.: 72 40 53 (P P C /A), 71 06 20 – TELEGS.: STETRA

* «CATERPILLAR» E «TRAXCAVATOR» SÃO MARCAS REGISTADAS DE CATERPILLAR TRACTOR CO.

CATERPILLAR*

APRESENTA UMA NOVA E MAIOR PÁ MECÂNICA SOBRE PNEUS



TRAXCAVATOR* 966

2 3/4 JARDAS CÚBICAS

MANOBRA	fácil e rápida, com caixa de velocidades servo-comandada, sistema «power shift»
BALDE	com inclinação automática
POTENCIA	140 HP com motor CATERPILLAR Diesel turbo-alimentado
ESTABILIDADE	perfeita, mesmo com o balde carregado e com o alcance máximo de 1,50 m
SEGURANÇA	braços de comando do balde deixando sempre livre o acesso ao lugar do operador

STET

SOCIEDADE TECNICA DE EQUIPAMENTOS E TRACTORES, LDA.

SEDE PROVISÓRIA: AV. DE MADRID, 3-B – LISBOA 1
TELEFS.: 724053 (P P C/A), 710620 – TELEGS.: STETRA

*«CATERPILLAR» E «TRAXCAVATOR» SÃO MARCAS REGISTADAS DE CATERPILLAR TRACTOR CO.

mente a actividade vulcânica na chaminé dos Capelinhos mudou dum tipo vulcaniano «submarino» para o tipo estromboliano, o que corresponde certamente a um aumento da pressão da lava da chaminé.

* * *

Este é um bom exemplo de repetição de solicitações sísmicas onde a intensidade nos epicentros atingiu por várias vezes o grau 10.

Pois bem: — até ao ponto em que foi possível apreciar estes fenómenos, os efeitos de todos os terramotos não pareceram mais graves do que se tivesse havido um único abalo com a respectiva aceleração máxima.

Por seu lado, a distribuição das isossistas parece também corresponder à simples sobreposição de 3 únicos abalos com epicentros em cada uma das zonas a que nos referimos (Fig. 5).

As próprias partes desmoronadas pareciam ter atingido posições de equilíbrio, talvez por um fenómeno análogo à compactação, não sendo deslocadas por novos abalos que não tivessem maior intensidade.

* * *

A repetição das cargas poderá ter contudo influência perigosa em fenómenos da fase plástica. Segundo vimos, quando se atinge a ressonância, as deformações «permanentes» surgirão em regra num e noutro sentido, havendo provàvelmente compensação.

Quando isto porventura não suceda, as deformações já podem aumentar progressivamente. Neste caso convém talvez verificar o efeito dum desvio lateral do centro de gravidade, à semelhança do que estabelecem alguns regulamentos para as estruturas de longo período (cf. Machado, 1954).

As deformações acumuladas podem talvez explicar a frequente destruição de depósitos elevados que se apoiam em estruturas metálicas (veja-se Steinbrugge & Moran, 1954), parecendo haver muito interesse em estudar experimentalmente a acção das vibrações sobre essas e outras estruturas, para verificar cuidadosamente o que se passa quando é atingida a fase de cedência.

Aqui, na construção anti-sísmica, não falta campo em que se possa fazer investigação útil, o que sucede aliás em quase todos os ramos da Engenharia.

AGRADECIMENTOS

Os desenhos foram preparados por J. Mourão nos Serviços Geológicos de Portugal. Ao Director destes Serviços, Eng. A. de Castelo Branco, o autor agradece as facilidades concedidas.

Ao Eng. J. Ferry Borges o autor agradece também a discussão de vários aspectos do presente estudo.

Referências

Alford, J. L., & G. W. Housner,
(1953) A Dynamic Test of a Four-Story Reinforced Concrete Building, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, vol. 43, pág. 7-16.

Borges, J. Ferry,
(1955) A Consideração das Solicitações Sísmicas no Dimensionamento das Estruturas, *Bol. Ord. Eng.*, Mem. 119.
(1956) *Statistical Estimate of Seismic Loading*, Preliminary Publication, V Congress Int. Ass. Bridge and Struct. Engineering, Lisbon.

Byerly, P.,
(1942) *Seismology*. Prentice-Hall, New York.

Cardoso, A.,
(1950-51) Defesa Anti-Sísmica, *Técnica*, ano XXVII, pág. 36-38, 71-86, 171-180 e 237-250.

Engle, H. M.,
(1953) Earthquake Provisions in Building Codes, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, vol. 43, pág. 233-237.

Gutenberg, B., & C. F. Richter,
(1959) Earthquake Magnitude, Intensity, Energy, and Acceleration (Second Paper), *Bull. Seism. Soc. Amer.*, vol. 46, pág. 105-145.

Hodge, P. G.,
(1959) *Plastic Analysis of Structures*. McGraw Hill, New York.

Housner, G. W.,
(1955) Properties of Strong Ground Motion Earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, vol. 45, pág. 197-218.
(1956) Limit Design of Structures to Resist Earthquakes, *Proc. World Conference on Earthquake Engineering*, Contr. 5, 1-13. Berkeley, Calif.

Housner, G. W., R. R. Martel, & J. L. Alford,
(1953) Spectrum Analysis of Strong-Motion Earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, vol. 43, pág. 97-119.

Machado, F.,
(1954) Construção Anti-Sísmica nos Açores, *Mem. Ord. Eng.*, vol. I, pág. 625-631.
(1955) Alguns Aspectos da Sismicidade dos Açores. *Bol. Ord. Eng.*, Mem. 107.
(1959a) Actividade Vulcânica da Ilha do Faial (Maio-Agosto 1958), *Atlântida*, vol. III, pág. 40-55.
(1959b) Submarine Pits of the Azores Plateau, *Bull Volcanologique*, sér. II, t. XXI, pág. 109-116.